

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Měření útlumových parametrů optického coupleru po námáhání
teplem**

**Measurements of Attenuation Parameters of the Optical Coupler
after Loading by Heat**

2017

Michal Vychodil

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Vychodil

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2601R013 Telekomunikační technika

Téma:

Měření útlumových parametrů optického coupleru po namáhání teplem
Measurements of Attenuation Parameters of the Optical Coupler after
Loading by Heat

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Stárnutí optických couplerů a jiných pasivních součástek je velice aktuální téma. Práce se zabývá teoretickým popisem optického coupleru a jeho parametrů. V praktické části je coupler zatěžován teplem a následně měřen a vyhodnocován.

1. Teoretický rozbor optického coupleru a jeho parametrů.
2. Popis zatěžování optického coupleru teplem.
3. Popis měření útlumových parametrů optického coupleru.
4. Měření optického coupleru po tepelném namáhání.
5. Vyhodnocení změnových charakteristik optického coupleru.

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] DERICKSON, Dennis. Fiber optic test and measurement. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1998, xx, 642 p. ISBN 0135343305.

[2] DUTTA K., Achyut a Masahiko FUJIWARA. WDM technologies: passive optical components. Amsterdam: Academic Press, c2003, xix, 513 s. ISBN 0122252624.

[3] VENGHAUS, Herbert a Norbert GROTE. Fibre optic communication: key devices. New York: Springer, c2012, xxx, 680 p. Springer series in optical sciences, v. 161. ISBN 9783642205170.


[4] KARTALOPOULOS, Stamatios V. Introduction to DWDM technology: data in a rainbow. Bellingham, Wash.: SPIE Optical Engineering Press, c2000, xxii, 252 p. ISBN 0780353994.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Bednárek**

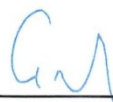
Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry






prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 24. dubna 2017


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukáši Bednárkovi za odbornou pomoc, cenné rady a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Celá práce se zabývá pasivním optickým rozbočovačem, neboli optickým couplerem. Cílem této práce je pomocí měření určit vliv tepla na útlumové parametry optického coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení. V teoretické části jsou uvedeny základní informace související se světlem, optickými vlákny, pasivními optickými sítěmi a couplerem samotným.

Praktická část se pak zabývá samotným měřením vlivu tepla na útlumové parametry coupleru. Podstatnými parametry celého měření jsou vložné útlumy, homogenity ztrát, celkové ztráty, dělicí poměry a směrovosti. Práce vychází z předpokladu nárůstu útlumu a jeho následného poklesu v důsledku relaxace materiálu. Jedná se o prvotní pohled na tuto problematiku.

Klíčová slova

pasivní optická síť, coupler, optický rozbočovač, teplo, optické vlákno

Abstract

The bachelor thesis studies a passive optical splitter or optical coupler. The Main goal is to determine the effect of heat on attenuation parameters of coupler, including theoretical analysis of this device. The theoretical part will mention basic information related to the light, optical fibers, passive optical networks and issue of coupler itself.

The practical part deals with the measurement of the impact of heat on attenuation parameters of the coupler. The essential parameters of the measurement are insertion losses, homogeneity of the losses, total losses, split ratios, and and directionalities. The work is based on the assumption of an increase loss and its subsequent decline due to relaxation of the material. It is a prime view of this the problem.

Key words

passive optical network, coupler, optical splitter, heat, optical fiber

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	- 9 -
Seznam použitých zkratek.....	- 10 -
Seznam ilustrací a seznam tabulek.....	- 11 -
Úvod.....	- 12 -
1 Světlo a optické sítě.....	- 13 -
1.1 Světlo	- 13 -
1.2 Optická vlákna	- 13 -
1.2.1 Jednovidová optická vlákna	- 14 -
1.2.2 Mnohavidová optická vlákna	- 15 -
1.3 Optické sítě	- 16 -
1.3.1 Aktivní optická síť.....	- 16 -
1.3.2 Pasivní optická síť	- 17 -
1.4 Připojky FTTx.....	- 21 -
1.5 Optický coupler.....	- 22 -
2 Měření	- 25 -
2.1 Průběh zatěžování	- 25 -
2.2 Měření výkonu	- 25 -
2.3 Vložený útlum.....	- 26 -
2.3.1 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm	- 27 -
2.3.2 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1550 nm	- 29 -
2.4 Homogenita ztrát.....	- 30 -
2.5 Celkové ztráty	- 31 -
2.6 Směrovost.....	- 33 -
2.6.1 Měření směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm.....	- 34 -
2.6.2 Měření směrovostí pro vlnovou délku 1550 nm.....	- 36 -
2.7 Dělicí poměr.....	- 37 -
2.7.1 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm	- 38 -
2.7.2 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm	- 39 -
Závěr	- 41 -
Použitá literatura	- 43 -
Seznam příloh.....	- 44 -

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
λ	m	Vlnová délka
A	dB	Útlum
c	m/s	Rychlost světla ve vakuu
f	Hz	Frekvence
n	-	Index lomu prostředí
NA	-	Numerická apertura
P	W	Výkon

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
10G - EPON	10Gigabit Ethernet Passive Optical Network (10 Gigabitová ethernetová pasivní optická síť)
AON	Active Optical Network (aktivní optická síť)
APON	ATM-based Passive Optical Network (pasivní optická síť založená na ATM)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (režim asynchronního přenosu)
BPON	Broadband Passive Optical Network (širokopásmová pasivní optická síť)
EPON	Ethernet Passive Optical Network (ethernetová pasivní optická síť)
FTTA	Fiber To The Antenna (optické vlákno k anténě)
FTTB	Fiber To The Building (optické vlákno k budově)
FTTC	Fiber To The Curb (optické vlákno k okraji chodníku)
FTTH	Fiber To The Home (optické vlákno do obytného prostoru uživatele)
FTTN	Fiber To The Node (optické vlákno zakončené ve skříní)
FTTO	Fiber To The Office (optické vlákno do účastnickova přístroje)
GPON	Gigabit Passive Optical Network (gigabitová pasivní optická síť)
LAN	Local Area Network (místní síť)
LED	Light Emitting Diode (dioda emitující světlo)
OAN	Optical Access Network (optická přístupová síť)
ODN	Optical Distribution Network (optická distribuční síť)
OLT	Optical Line Termination (optické linkové zakončení)
ONT	Optical Network Termination (optický síťový zakončovač)
ONU	Optical Network Unit (optická síťová jednotka)
P2P	Point-to-Point (bod a bod)
P2MP	Point-to-Multipoint (bod a více bodů)
PON	Passive Optical Network (pasivní optická síť)
PVC	Polyvinylchlorid / umělá hmota
SNI	Service Node Interface (přechod mezi přístupovou a páteřními systémy)
UNI	User Network Interface (přechod mezi přístupovou a lokální sítí)
WDM	wavedivision multiplex (vlnový multiplex)

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Optické spektrum	13
1.2	Jednovidové optické vlákno	15
1.3	Mnohavidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu	15
1.4	Mnohavidové optické vlákno s plynulou změnou indexu lomu	16
1.5	Architektura PON sítě	18
1.6	Ukázka FTTx přípojek	22
1.7	Struktura PLC rozbočovače	23
2.1	Schéma měření výkonu coupleru	26
2.2	Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro 1310 nm	27
2.3	Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro 1550 nm	29
2.4	Graf homogenit ztrát pro obě vlnové délky	31
2.5	Graf celkových ztrát pro obě vlnové délky	32
2.6	Schéma měření směrovosti 1:5	33
2.7	Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm	38
2.8	Graf dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm	39

Číslo tabulky	Název tabulky	Číslo stránky
2.1	Směrovost pro vlnovou délku 1310 nm	34
2.2	Směrovost pro vlnovou délku 1550 nm	36

Úvod

V dnešní době jsou optické sítě velmi rozšířenou variantou při poskytování datového připojení ve firmách a domácnostech. Dále se využívají na propojení měst, států a kontinentů. Mezi hlavní výhody optických sítí se řadí velké přenosové rychlosti, vysoká spolehlivost a možnost překonat velkou vzdálenost pomocí jednoho optického vlákna bez zesilovače. Dělíme je na aktivní optické sítě a pasivní optické sítě. Optické prvky, z kterých se optické sítě skládají, však čelí různým vlivům, které způsobují stárnutí prvku a tím ovlivňují jeho útlumové parametry.

Má bakalářská práce se zabývá optickým couplerem, neboli optickým rozbočovačem, který se používá hlavně v pasivních optických sítích.

Cílem bakalářské práce je určit vliv tepla na útlumové parametry coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení.

Celá práce je rozdělena na dvě hlavní části. Jedná se o část teoretickou, ve které jsou vypracovány první tři body zadání, a praktickou, kde je uvedeno samotné měření a vyhodnocení parametrů coupleru po namáhání teplem.

První kapitola se věnuje teoretickému úvodu do problematiky optického coupleru. Konkrétně jsou zde uvedeny informace o světle, dále typy optických sítí a využívaná optická vlákna. V poslední z podkapitol je uveden teoretický rozbor samotného coupleru, včetně jeho útlumových parametrů.

Ve druhé kapitole je potom popsán samotný průběh zatěžování coupleru teplem a délka jednotlivých zatěžování. V následujících šesti podkapitolách se zaměřuji na jednotlivé parametry coupleru. První podkapitola se věnuje průběhu měření výkonů vycházejících z coupleru. V dalších podkapitolách se pak řeší každý parametr zvlášť. Mezi zkoumané parametry patří vložný útlum, homogenita ztrát, celkové ztráty, směrovost a dělicí poměr.

Zatěžování i následné měření coupleru probíhalo na budově N v areálu VŠB-TUO. Součástí práce je přiložené CD, jehož obsahem jsou naměřené hodnoty v programu Excel.

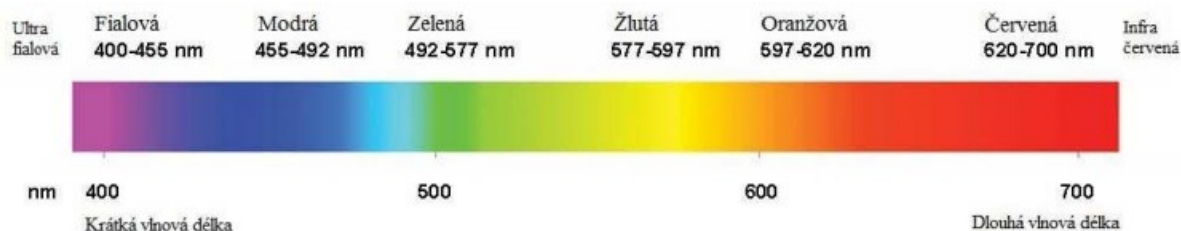
1 Světlo a optické sítě

1.1 Světlo

Světlo je druh elektromagnetického záření, které je charakterizováno různou vlnovou délkou, určitou rychlostí a specifickými vlastnostmi. Světlo nepotřebuje žádné látkové prostředí ke svému šíření, takže se může šířit i ve vakuu a to rychlostí $c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost světla ovlivňuje prostředí, ale také jeho frekvence. Vlnová délka je prostorová perioda vlny, vzdálenost, po kterou se vlna opakuje. Značí se řeckým písmenem λ (lambda) a lze spočítat dle vzorce:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

Kde c je rychlost světla ve vakuu a f je frekvence světla. Světlo viditelné lidským okem se nazývá viditelné světlo. Rozsah jeho vlnových délek je vymezen fialovou barvou $\lambda = 390 \text{ nm}$ a červenou barvou $\lambda = 760 \text{ nm}$, jak můžeme vidět na obrázku 1.1. Různé vlnové délky v tomto intervalu vnímá lidské oko jako odlišné barvy světla. Delší vlny jak 760 nm se nazývají infračervené záření, které je pro lidské oko neviditelné a má rozsah $760 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$. Infračervené záření se používá např. při termovizi nebo u nočního vidění. Kratší vlny jak 390 nm se nazývají ultrafialové záření, které je rovněž neviditelné a jeho rozsah je $10 \text{ nm} - 390 \text{ nm}$. Ultrafialové záření je obsaženo ve slunečním světle, ale také ho produkují tělesa zahřátá na velmi vysokou teplotu např. elektrický oblouk nebo rtuťová výbojka. [1], [2]



Obrázek 1.1: Optické spektrum

1.2 Optická vlákna

Optické vlákno je v podstatě válec, který se vyrábí buď ze skla, nebo z plastu. Toto vlákno prostřednictvím světla přenáší signály ve směru své podélné osy. Optická vlákna jsou využívána v komunikacích především proto, že umožňují přenos na delší vzdálenosti a to při vyšších rychlostech než ostatní druhy komunikace. Vlákna se používají namísto metalických vodičů a to hlavně díky mnohem lepším vlastnostem, mezi které patří to, že signál se přenáší s menší ztrátou a vlákna jsou imunní vůči elektromagnetickému rušení. Optická vlákna se používají pro stavbu telekomunikačních sítí díky tomu, že jsou ohebná a dají se svázat do svazků jako kabely. Vlákna jsou velmi výhodná v tom, že každé vlákno je schopné přenášet více nezávislých signálů, takže na každý signál se použije

jiná vlnová délka světla. Pokud se optická vlákna použijí na vytvoření sítě na krátkou vzdálenost např. v budově, šetří se tím prostor v kabelovém vedení, protože jedno jediné vlákno může přenést mnohem více dat než jeden metalický vodič. Optická vlákna nejsou elektricky vodivé, což přináší další výhodu ohledně bezpečnosti.

Přenos signálu vláknem funguje tak, že optické vlákno je válečkový dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny ve směru osy vlákna s využitím principu totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vnitřní část vlákna se nazývá jádro, okolo jádra je plášť a primární ochrana. Jádro musí mít index lomu vyšší, než plášť. Index lomu vyjadřuje změnu rychlosti šíření světla při přechodu mezi různými prostředími. Index lomu se vypočítá vydělením rychlosti světla ve vakuu rychlostí světla v hmotném prostředí. Běžná hodnota indexu pláště optického vlákna je 1,46. Typická hodnota pro jádro je 1,48. Čím větší je index lomu, tím pomaleji se světlo pohybuje v tom daném prostředí. Jednotlivé druhy vláken mají i odlišné parametry např. numerickou aperturu, která má vztah zejména k navázání optického signálu do vlákna. [3], [4], [5]

Skleněná optická vlákna se vyrábějí z velice tenkých skleněných vláken, která jsou téměř vždy složena z křemenného skla a ta se smotávají a potahují ochrannou vrstvou, která se určuje podle toho, kde budou nasazeny (např. nerezová ocel, křemík, PVC atd.). Průměr skleněných optických vláken je obvykle menší než u vláken plastových. Skleněná vlákna se používají spíše na větší vzdálenost. [6]

Plastová optická vlákna se potom vyrábí z polymerního materiálu. Jako hlavní materiál jádra se používá akryl, vnější plášť obsahuje polymery s příměsí fluoru (např. polyvinylfluorid) a pro obaly vnějšího obalu jádra se používají polymery z řad termoplastových a termosetových. U plastových optických vláken se většinou setkáváme se silnějším jádrem a to od 0,5 mm. Co se týče útlumu tak ten mají vyšší než skleněná vlákna, v případě mnohavidových vláken se jedná o hodnoty 50 až 100 dB/km. Proto se plastová vlákna častěji používají na krátkou vzdálenost. [6], [7]

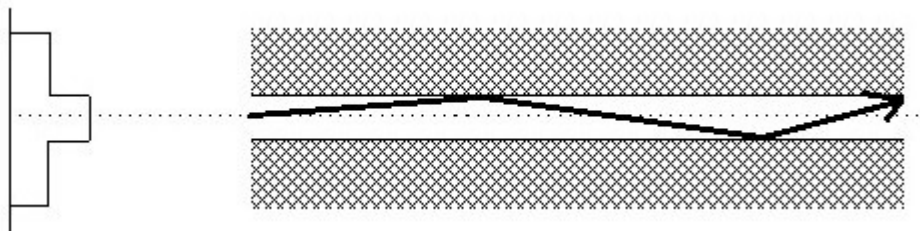
Rozlišujeme dva druhy vláken:

- Jednovidová optická vlákna
- Mnohavidová optická vlákna

1.2.1 Jednovidová optická vlákna

Jednovidové optické vlákno (SM z anglického singlemode) se v optických sítích nejčastěji používá pro přenos dat na větší vzdálenosti např. mezi městy, státy, kontinenty. Pro jednovidová vlákna se používají optická vlákna s průměrem jádra pouhých 9 μm . Jednovidová optická vlákna mají numerickou aperturu NA v rozmezí 0,08 - 0,15. Typickými vlnovými délkami jsou v současné době 1310 nm a 1550 nm.

Signál je tvořen jedním videm, který se šíří podél osy jádra a odráží se při ohybu na rozhraní viz obrázek 1.2. Pro generování a detekci světla u jednovidových vláken je zapotřebí kvalitnějších a tedy i dražších zařízení. Jako generátory jsou zde používány zejména polovodičové lasery. Jednovidová vlákna využívají skokový index lomu a jejich útlum je typicky 0,35 dB/km při vlnové délce 1310nm a 0,2 dB/km při vlnové délce 1550nm. Jednovidová vlákna vykazují nejlepší parametry optické přenosové cesty a lze pomocí nich dosáhnout nejvyšších přenosových rychlostí (až 26Tb/s) na vzdálenosti do 50 km. [3], [4], [5]

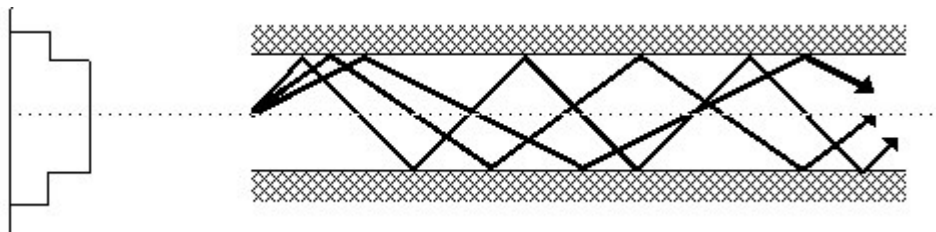


Obrázek 1.2: Jednovydové optické vlákno

1.2.2 Mnohavidová optická vlákna

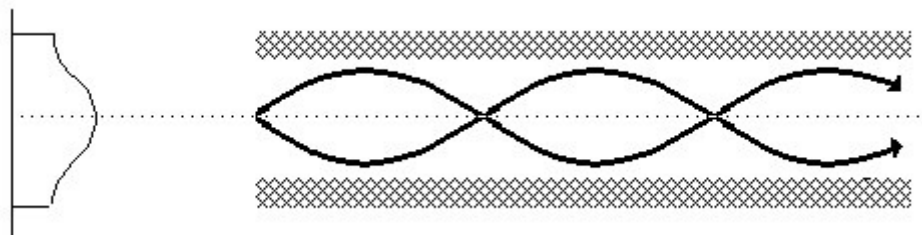
Mnohavidové optické vlákno (MM z anglického multimode) se v optických sítích nejčastěji používá pro komunikaci na krátké vzdálenosti např. uvnitř budovy nebo nějakého areálu. Tyto vlákna dosahují rychlosti přenosu okolo 10 Mb/s až 10 Gb/s při vzdálenosti do 600 metrů. Pro mnohavidová vlákna se používají optická vlákna s průměrem jádra 50 a 62,5 μm

Použití mnohavidových vláken je levnější, než vlákna jednovydová. Můžou za to jak samotná vlákna, která jsou levnější, tak i generátory a detektory světla. U mnohavidových vláken se jako generátor používá LED. Generátor světla vytváří světelné impulsy, které vytvoří několik paprsků, označovaných také jako vidy. Tyto vidy se poté odráží od obalu jádra pod různými úhly, tedy v různých dráhách a díky tomu se jich jedním vláknem přenáší víc a z toho vyplývá název mnohavidová vlákna. K detektoru ovšem dorazí jednotlivé vidy s určitým zpožděním mezi sebou. Tento jev se nazývá vidová disperze. Vidová disperze má za následek, že dochází ke zkreslení signálu a to hlavně u mnohavidových vláken se skokovou změnou indexu lomu, které je na obrázku 1.3. Právě díky tomuto zkreslení, které narůstá s délkou vlákna, se mnohavidová vlákna používají maximálně na vzdálenost do 2 km. Jejich numerická apertura je v rozmezí 0,3-0,6.



Obrázek 1.3: Mnohavidové vlákno se skokovou změnou indexem lomu

Existují také mnohavidová vlákna s plynulou změnou indexu lomu viz obrázek 1.4. Ty jsou tvořena z tenkých vrstev, které se liší indexem lomu. Čím je paprsek dál od osy jádra, tím je index lomu menší a postupně se paprsek vrací zpět do středu jádra. Tudíž u těchto vláken dochází k mnohem menší vidové disperzi a vyslané paprsky dorazí ke konci vlákna zhruba ve stejné časové okamžiky. Typický útlum těchto vláken je 2-10 dB/km při vlnové délce 850 nm. Jejich numerická apertura je v rozmezí 0,18-0,24. Mnohavidová vlákna se nejčastěji používají u LAN sítí. [3], [4], [5]



Obrázek 1.4: *Mnohavidové optické vlákno s plynolou změnou indexu lomu*

1.3 Optické sítě

V současnosti jsou vesměs všechny dálkové komunikační okruhy a rozsáhlé sítě postaveny na optické infrastruktuře.

Optická síť je složena hlavně z optických prvků. Mezi tyto prvky se řadí vše od přenosového média až po použité optické zařízení. Jako vysílač se používá zdroj záření, který mění elektrický signál na optický a jako přijímač detektor záření, který převádí optický výkon na elektrický signál. Přenos jako takový spočívá v převádění bitů na optický signál. Vysílač tedy převádí bity (představme si logické nuly a jedničky) na optický signál (světlo), které prochází optickým vláknem do přijímače, kde se zase dekóduje zpět na bity. Pokud vysíláme na velmi dlouhou vzdálenost, je potřeba optický signál zesílit, to se řeší pomocí optického zesilovače. Jako zdroj se v optických vysílačích používají dva typy zářičů: LED (LED diody) a LD (laserové diody).

Mezi další výhody optické sítě patří velká přenosová rychlost a naprostá necitlivost vůči elektromagnetickému rušení. Jsou také velmi bezpečné. Mezi nevýhody patří spojování jednotlivých vláken (využívá se mechanické spojování a svařování vláken). Dále jsou optická vlákna velmi citlivá na mechanické namáhání a ohyby.

Zatím se optické sítě používali hlavně na dálkové vysokorychlostní vedení. V dnešních dnech už se ovšem začínají rozšiřovat i do běžných domácností.

Optické sítě dělíme na pasivní optické sítě (PON – Passive Optical Network) a aktivní optickou síť (AON – Active Optical Network) [3],[8].

1.3.1 Aktivní optická síť

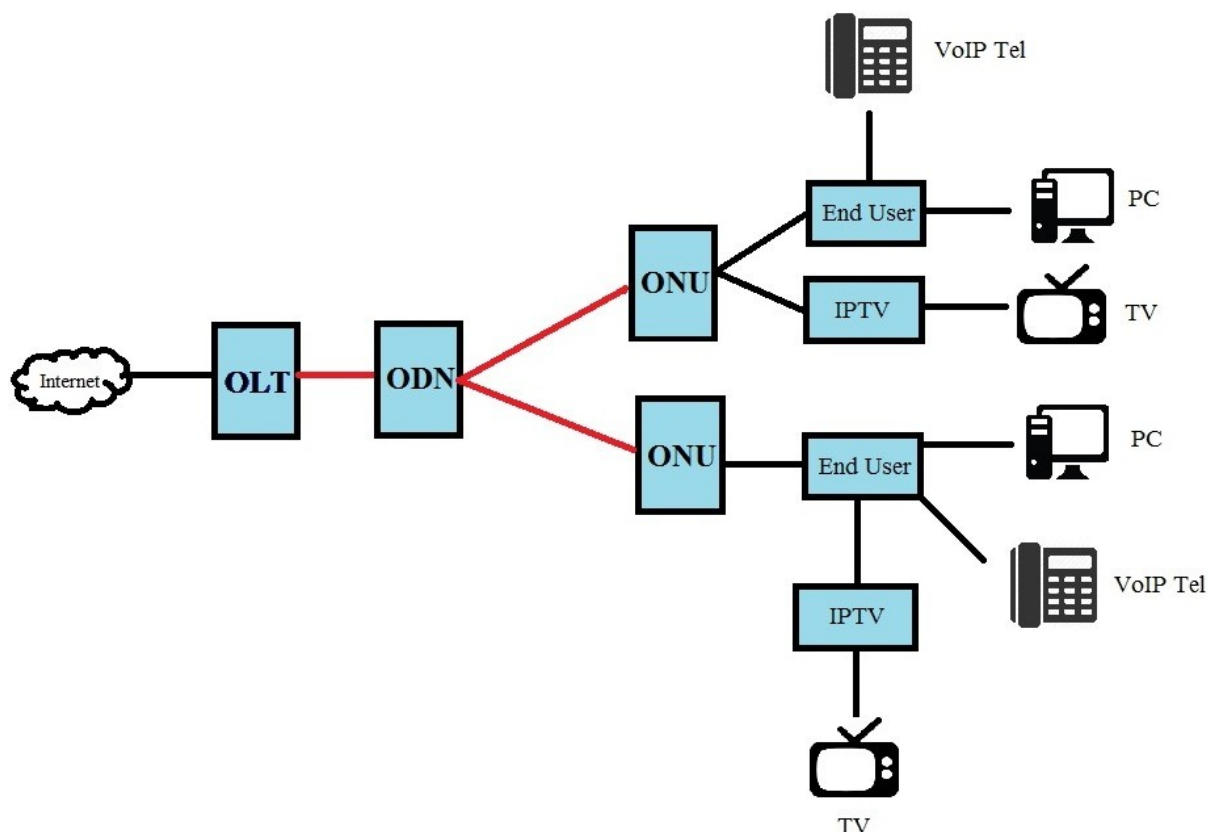
Aktivní optická síť se vyznačuje tím, že v distribuční síti většinou neobsahuje žádné pasivní prvky, až na optické vlákno. Z čehož vyplývá, že zařízení v aktivní optické síti vyžaduje management (řízení) a napájení. Tato technologie se používá jak v topologiích P2P, tak i u P2MP. Mezi velké výhody patří to, že všechny zařízení v síti pracují na optickém ethernetu a tak lze kombinovat zařízení od různých výrobců. Další výhodou je, že aktivní optické sítě mohou na rozdíl od pasivních optických sítí PON překonat vzdálenost až 80 km mezi koncovým uživatelem a CO (centrální kancelář poskytovatele služeb). Další výhody AON jsou: symetrický kanál, upstream/downstream,

transparentnost a jednoduchý upgrade technologií. Mezi nevýhody AON patří například napájení prvků, větší množství konektorů, spojek a vláken a vyšší spotřeba energie. [3], [4], [9].

1.3.2 Pasivní optická síť

Pasivní optické sítě vznikly z nápadu připojit více uživatelů prostřednictvím jednoho optického vlákna nebo páru vláken společných pro více uživatelů. V sítích PON je nejvíce rozšířena technologie přenosu pomocí časového dělení (TDM – Time Division Multiplex). Časový multiplex funguje tak, že k uživateli vysíláme data v krátkých časových intervalech tzv. timeslotech a všesměrově. Tyto intervaly v sobě mají zapouzdřen identifikační rámec, díky němuž koncový účastník přijímá data, která jsou přidělena pouze jemu. Ovšem existuje tu riziko odposlechu přenášených dat, takže je u časového dělení potřeba data šifrovat. PON sítě obsahují pouze pasivní prvky s výjimkou aktivních optických zařízení na straně poskytovatele a koncového účastníka. V dalších kapitolách jsou popsány standardy základních sítí. Mezi základní části PON sítě patří:

- **Optická distribuční síť** (ODN – Optical Distribution Network) – prostředky a prvky optických sítí na trase mezi koncovými jednotkami. ODN tedy obsahuje pouze pasivní prvky, jako je coupler.
 - **Optická přístupová síť** (OAN – Optical Access Network) – soubor ODN připojených k centrálnímu uzlu.
 - **Optické linkové zakončení** (OLT – Optical Line Termination) – prvek, který zakončuje ODN na straně operátora sítě PON (poskytovatel připojení).
 - **Optické síťové zakončení** (ONT – Optical Network Termination) – jedná se o koncové zařízení a nachází se na straně účastníka. Hlavním úkolem je přizpůsobení komunikačních protokolů mezi rozhraním a sítí PON. ONT se používá jako opticko-metalický konvertor pro připojení uživatele využívajícího Ethernetové médium.
 - **Optická síťová jednotka** (ONU – Optical Network Unit) – koncové zařízení na straně uživatele. Disponuje stejnými funkcemi jako zakončení ONT. Avšak toto zařízení realizuje připojení prostřednictvím bezdrátové nebo metalické sítě. Většinou využívá různých variant FTTx přípojek.
 - **Rozhraní UNI** (User Network Interface) – je přechod mezi přístupovou sítí a lokální sítí.
 - **Rozhraní SNI** (Service Node Interface) – je hranice mezi přístupovou a páteří sítí.
- [3],[4],[10],[11]

Obrázek 1.5: *Architektura PON sítě*

APON/BPON

APON (ATM-based PON) byla prvním normalizovaným standardem pro PON. Je založena na přenosu ATM (Asynchronous Transfer Mode) buněk dle specifikace ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization Sector) G.983. Tato síť nabízí dvě varianty: symetrickou službu rychlostí 155 Mbit/s (OC-3) a asymetrickou službu v dopředném směru (ze sítě k uživateli) 622 Mbit/s (OC-12) a ve zpětném směru 155 Mbit/s.

Standard BPON (Broadband Passive Optical Network) byl schválen v roce 2001 specifikací ITU - T G. 693.3. Jedná se o rozšíření předchozího standardu APON a rozdíl je v tom, že BPON zavádí přenosovou rychlost 622.08 Mbit/s při symetrickém přenosu oběma směry.

U obou standardů se přenosové médium skládá z jednoho nebo dvou jednovláknových vláken podle G.652. Obousměrná komunikace se zajišťuje buď vlnovým dělením na jediném vlákně, nebo jednosměrným provozem na dvou vláknech. Při použití vlnového dělení se pro sestupný směr používají vlnové délky 1480 – 1500 nm a pro vzestupný směr 1260 – 1360 nm. Logický i fyzický dosah obou sítí je 20 km. [10],[11],[12]

GPON

GPON (Gigabit Passive Optical Network) byla normalizovaná v ITU-T na počátku roku 2003. Doporučení ITU-T G984 pro GPON vychází z předchozího doporučení G.983. Nová doporučení jsou rozšířením základního doporučení G.983.1 ve smyslu rychlosti při zachování základních principů širokopásmového optického přístupového systému. G.984.1 popisuje obecné charakteristiky systému GPON (architekturu, rychlosti, dosah, zpoždění přenosu signálu, bezpečnost). G.984.2 popisuje optickou přístupovou síť schopnou podporovat budoucí požadavky domácích i podnikových uživatelů.

Podporuje nominální rychlosti na vedení 1,25 a 2,5 Gb/s směrem od sítě k uživateli a 155 nebo 622 Mb/s, 1,5 nebo 2,5 Gb/s směrem od uživatele k síti. Optická přístupová síť může být realizována jak asymetricky, tak symetricky. Pro komunikaci na druhé vrstvě používá protokol GEM (GPON Encapsulation Mode), což je varianta protokolu GFP (Generic Framing Procedure).

Při použití vlnového dělení se pro sestupný směr používají vlnové délky 1480 – 1500 nm a pro vzestupný směr 1260 – 1360 nm. Logický dosah sítě je 60 km a fyzický dosah je 20 km. [10],[11],[12]

XG - PON

Standard XG – PON měl hlavně zachovat zpětnou kompatibilitu se starší specifikací GPON. Proto byly navrženy dvě varianty realizace GPON.

- XG – PON1 - založena na časově sdíleném přístupu (TDMA) a vlnového multiplexu využívá pouze okrajově
- XG – PON2 - plně využívá technologie WDM, může dosáhnout sdílených rychlostí až 40 Gb/s

Jelikož XG-PON2 nezajišťoval plnou kompatibilitu vzhledem ke standardu GPON nebyl standardizován a realizován byl XG-PON1. XG – PON vychází z implementace doplňků do sítě GPON, takže využívá již stávající prvky GPON v síti. Vlnové délky volíme 1575 – 1580 nm pro sestupný směr a 1260 – 1280 nm pro vzestupný směr. Pro přenosovou rychlost byla klíčová volba kódování. Zvolena byla možnost kódování NRZ a skrambleru, což vychází z principu SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Výsledná rychlost pro sestupný směr je 9,95328 Gb/s a pro vzestupný směr 2,48832 Gb/s. [12]

EPON

EPON (Ethernet Passive Optical Network) byla specifikována standardem IEEE 802.3ah. Rozdíl mezi EPON a GPON je minimální. Hlavní rozdíl těchto sítí je rozdíl v technologii, kde ATM je nahrazeno technologií Ethernetu. U EPON lze dosáhnout přenosových rychlostí až 1,25 Gb/s a to v závislosti na použitém rozhraní. EPON je navržena pro komunikaci P2MP (point to multipoint), ovšem lze ji emulací modifikovat i na P2P. Existují dva typy rozhraní lišící se dynamikou a optickými výkony. První typ podporuje rozbočení až 1:16 a maximální vzdálenost mezi OLT a ONU 10km. Druhý typ podporuje rozbočení až 1:32 a vzdálenost mezi OLT a uživatelem může činit až 20km. Z hlediska topologie se nejčastěji používá rozvětvená stromová struktura. Při použití vlnového dělení

se pro sestupný směr používají vlnové délky 1480 – 1500 nm a pro vzestupný směr 1260 – 1360 nm. [10],[11],[12]

10G - EPON

10G-EPON (10Gigabit Ethernet Passive Optical Network) je vývojovým stupněm standardu 802.3ah, který byl schválený v září 2009. Jeho hlavním úkolem bylo zvýšit přenosové rychlosti, ale zachovat kompatibilitu s předchozím standardem 802.3ah.

Na rozdíl od 802.3ah nabízí 10G-EPON symetrický přenos i asymetrický přenos. Symetrická varianta zvyšuje rychlost na 10,3125Gbit/s v obou směrech. Asymetrická varianta nabízí v sestupném směru též rychlost 10,3125 Gb/s, ovšem vzestupný směr zachovává rychlost 1244,16Mb/s. Což je stejný rychlost jako u normy 802.3ah. [10],[11],[12]

WDM - PON

Technologie vlnového dělení WDM (wavedivision multiplex) umožňuje paralelně přenášet po jednom optickém vlákně několik navzájem oddělených vlnových délek a tím znásobit jeho celkovou kapacitu. Díky standardu ITU-T G.694.2 došlo k jednotnému určení vlnových délek pro realizaci vlnového dělení a také došlo k rozdělení na variantu hrubého CWDM (Coarse WDM) a hustého DWDM (Dense WDM) vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek.

Pro variantu CWDM byly definovány jednotlivé kanály s první nosnou 1270 nm a poslední 1610 nm, s odstupem mezi jednotlivými nosnými 20 nm a tolerancí nosné $\pm 6,5$ nm. Větší rozteč kanálů a dodatečná tolerance je nutná z důvodu použití obecně méně kvalitních optických zdrojů v optických přístupových sítích a závislosti vysílané vlnové délky na teplotě. Pro standardní jednovládkové vlákno 9/125 μm je definováno 18 kanálů, které se rozdělují do následujících pásem:

- pásmo O (Original): vlnové délky 1260-1360 nm
- pásmo E (Extended): vlnové délky 1360-1460 nm
- pásmo S (Short): vlnové délky 1460-1530 nm
- pásmo C (Conventional): vlnové délky 1530-1565 nm
- pásmo L (Long): vlnové délky 1565-1625 nm

Varianta DWDM využívá menší rozestupy mezi jednotlivými kanály a potřebuje podstatně nižší toleranci vlnové délky u jednotlivých nosných. Díky tomu může ve stejném pásmu umístit větší počet vlnových délek, většinou 32, 64 a perspektivně až 96 v jednom pásmu. Při používání hustého vlnového multiplexu jsou náklady na provoz mnohem vyšší než u CWDM a to kvůli nutnosti používat aktivně chlazených optických zdrojů.

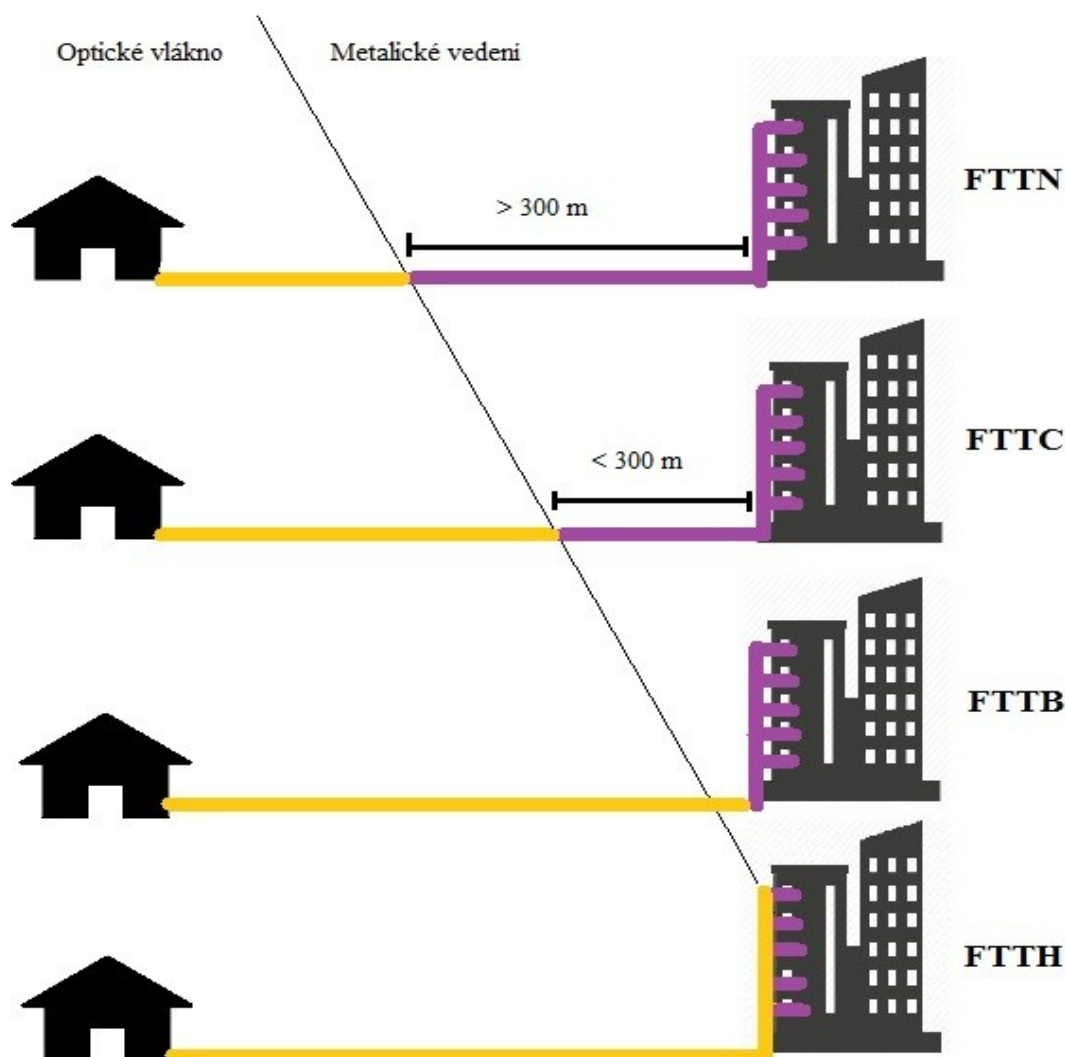
Pro využití v pasivních optických přístupových sítích se pro použití DWDM uvažuje o pásmech C a L s rozestupem jednotlivých nosných cca 0,8 nm, což by umožnilo přenos 32 až 80 vlnových délek. Pro dálkové a páteřní optické spoje pak pásma C, L a S s rozestupem nosných cca 0,4 nm a použitím 80 až 160 nosných v jednom vlákně.[13]

1.4 Připojky FTTx

Všechny druhy širokopásmové síťové architektury se obecně označují FTTx (Fiber to the x). Tyto architektury využívají optické vlákno, aby nahradily obvyklá metalická vedení, která se používají pro tzv. poslední míli telekomunikace (propojení mezi koncovým bodem sítě a účastníkem). Tento pojem vznikl jako zobecnění několika konfigurací nasazení (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH atd.)

Podle toho, kde se nachází ukončení optického vlákna, lze tyto sítě rozdělit do několika typů. Druhů těchto sítí je mnoho, tudíž budou uvedeny pouze nejčastěji používané:

- **FTTN** - Fiber-to-the-node je typ optické trasy, kde je vlákno zakončeno ve skříní (uzlu), umístěné až několik kilometrů od objektu zákazníka, konečná přípojka je potom metalická
- **FTTC** - Fiber-to-the-curb je typ optické trasy velmi podobné FTTN, ale přípojná skříň je blíže k prostorám uživatele. Většinou k okraji chodníku v blízkosti skupiny domů a jedná se o vzdálenost do 300 metrů
- **FTTB** - Fiber-to-the-building nebo Fiber-to-the-basement je typ optické trasy, kde vlákno nedosahuje samotných obytných či firemních prostor uživatele a v podstatě končí ještě před nimi. O FTTB lze hovořit pouze v situaci, kdy je připojen větší počet obytných či firemních prostor.
- **FTTH** - Fiber-to-the-home je typ optické trasy, kde komunikace probíhá po optickém vlákne od centrály až po obytný nebo firemní prostor uživatele
- **FTTO** – Fiber-to-the office je typ optické trasy, kde optické vlákna jsou zavedena přímo až do účastníkovy přístroje, nejčastěji do počítače
- **FTTA** - Fiber-to-the-antenna je typ optické trasy, který používají hlavně mobilní operátoři. Komunikace probíhá po optickém vlákne od centrály až po anténu mobilního operátora[3],[10],[14]



Obrázek 1.6: Ukázka FTTx připojek

1.5 Optický coupler

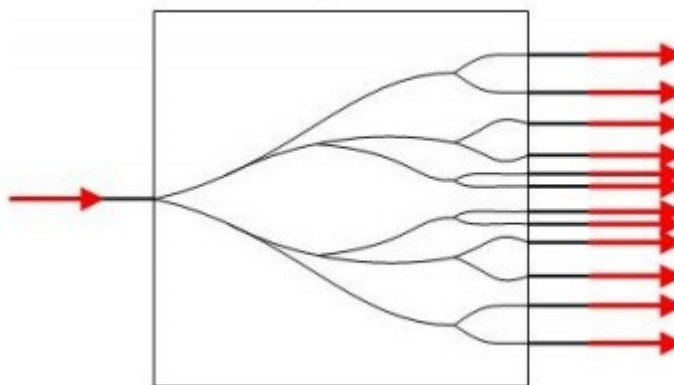
Coupler, česky rozbočovač je optický síťový prvek, který bývá často zaměňován se splitterem. Ovšem jde o odlišné síťové prvky. Hlavní rozdíl mezi couplerem a splitterem je schopnost rozbočovat a slučovat signál. Splitter je síťový prvek, který umožňuje sdílení optického média velkému počtu klientů. Patří mezi pasivní prvky, jelikož nepotřebuje napájení ani velký dohled, popřípadě management. Splitter provádí pouze jednu funkci a to buď rozbočování nebo slučování signálu. Podle typu použité technologie dokážou pracovat v rozmezí pásma od 1260 do 1650 nm. Nejnovější splitters mají vynikající přenosové parametry a šířku pásma. [3], [9].

Splitters se používají pro optická měřicí zařízení a systémy v PON sítích. Využívají se ve variantách síťové infrastruktury, například FTTC, FTTP, FTTB, FTTH, FTTHD.

Optický coupler je pasivní optické zařízení, které obsahuje jeden vstup a více výstupů. Standardní konfigurace bývá jeden vstup se dvěma výstupy, označovaná jako 1:2. Jeho hlavní

výhodou oproti splitteru je to, že optický coupler umí signál nejen rozbočit na určité vlnové délky, ale také jej umí sloučit. Optické couplery jsou vyráběny dvěma technologiemi: PLC (Planar Lightwave Circuit) a FBT (Fused Bionic Taper).

PLC rozbočovače – tyto couplery jsou vyráběny planární technologií, a to tak, že se na křemíkové desce za pomoci technologického postupu vytvoří požadovaná struktura. To umožňuje vytvořit coupler o požadovaném počtu portů od rozbočovacího poměru 1:4 až do 1:128.



Obrázek 1.7: PLC rozbočovače

FBT rozbočovače – tento typ couplerů se vyrábí jinou, starší technologií. Rozbočovače se vytváří slučováním optických vláken. První se z vlákna odstraní část pláště a ostatní ochrany. Poté se za vysokého tlaku a teploty jednotlivá vlákna svaří. A nakonec se odstraní přebytečné vstupy. Rozbočovače vyrobené touto technologií mají menší počet výstupních portů [3], [9], [15], [16].

Mezi hlavní parametry optického coupleru patří:

Rozbočovací poměr - vyjadřuje počet výstupů rozbočovače, které jsou označeny 1:N. Nejčastěji se používají 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, někdy i 1:128.

Dělicí poměr – je to poměr, v jakém jsou vůči sobě optické výkony na výstupech. Rozbočovače rozlišujeme na symetrické a asymetrické. U symetrických rozbočovačů se optický výkon na výstupech rozděluje stejně. Kdežto u asymetrických dostáváme na výstupy rozdílné výkony. Dělicí poměr se vyjadřuje v procentech. V pasivních optických sítích se spíše využívají symetrické couplery. V případě mého měření byl použit coupler s rozbočovacím poměrem 1:8 a výpočet dělicího poměru pro výstup P_1 vypadá následovně:

$$\frac{P_1}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8} * 100 \quad (1.2)$$

Kde P_1 - P_8 jsou optické výkony na výstupech 1-8.

Vložný útlum – Je způsoben přenesením optického výkonu ze vstupu na výstup. Tudíž je vložný útlum závislý na počtu výstupů a také na tom zda je coupler symetrický, nebo asymetrický. Udává se v dB. Pro měřený coupler s rozbočovacím poměrem 1:8 by se hodnota vložného útlumu na

každém výstupu u každé vlnové délky (1310 nm a 1550 nm) měla pohybovat okolo 10 dB. Hodnota vložného útlumu lze spočítat dle rovnice:

$$-10 * \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \quad (1.3)$$

Kde za P_{in} budeme dosazovat vstupní optický výkon a za P_{out} jeden z našich 8 výstupů, dle toho který zrovna měříme.

Směrovost – jiným názvem útlum přeslechu určuje, jak velký výkon přechází z jednoho kanálu do druhého. Měl by tu být co největší útlum, aby výkon nepřecházel do jiných výstupů, než má. Měřicí jednotkou jsou dB. Za dobrou směrovost se považuje hodnota větší než 50 dB. Směrovost se měří mezi všemi kombinacemi výstupů a měla by být lepší pro vzdálenější výstupy. Výpočet se provádí dle rovnice:

$$-10 * \log \frac{P_{1,2}}{P_0} \quad (1.4)$$

Kde za $P_{1,2}$ dosazujeme optický výkon mezi dvěma měřenými výstupy a za P_0 vstupní výkon.

Homogenita ztrát – tento parametr se počítá jako rozdíl mezi maximálním vložným útlumem kteréhokoliv výstupu a minimálním vložným útlumem kteréhokoliv výstupu. Výsledek se udává v dB. Výsledná hodnota musí být velmi malá. Výpočet se provádí dle rovnice:

$$MAX_{vložny \ utlum \ 1-8} - MIN_{vložny \ utlum \ 1-8} \quad (1.5)$$

Celkové ztráty – hodnoty celkových ztrát se udávají v dB. Tento parametr udává ztráty samotného coupleru. Celkové ztráty se pohybují obvykle okolo 1 dB. Výpočet dle rovnice:

$$-10 * \log \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8}{P_0} \quad (1.6)$$

Kde P_1 - P_8 jsou optické výkony na výstupech č.1 - č.8 a P_0 vstupní optický výkon.

2 Měření

Všechna měření probíhala v areálu VŠB-TUO, přesněji v laboratořích budovy N, pod dohledem Ing. Lukáše Bednárka. Nejprve se změřily parametry nezatíženého coupleru, abychom pak byli schopni porovnat rozdíly parametrů před a po zatížení.

Následně proběhlo měření s couplerem, který byl po dobu 142 hodin zatěžován při teplotě 95 °C. Po tomto měření byl coupler znovu zatěžován stejnou teplotou 95 °C, ale tentokrát po dobu 126 hodin a opět se změřily parametry. Třetí zatěžování proběhlo opět při stejné teplotě a doba zatěžování byla 165 hodin. Čtvrté zatěžování probíhalo 166 hodin při teplotě 95 °C. A při posledním zatěžování byl coupler vystaven teplotě 95 °C celých 360 hodin a došlo k poslednímu měření.

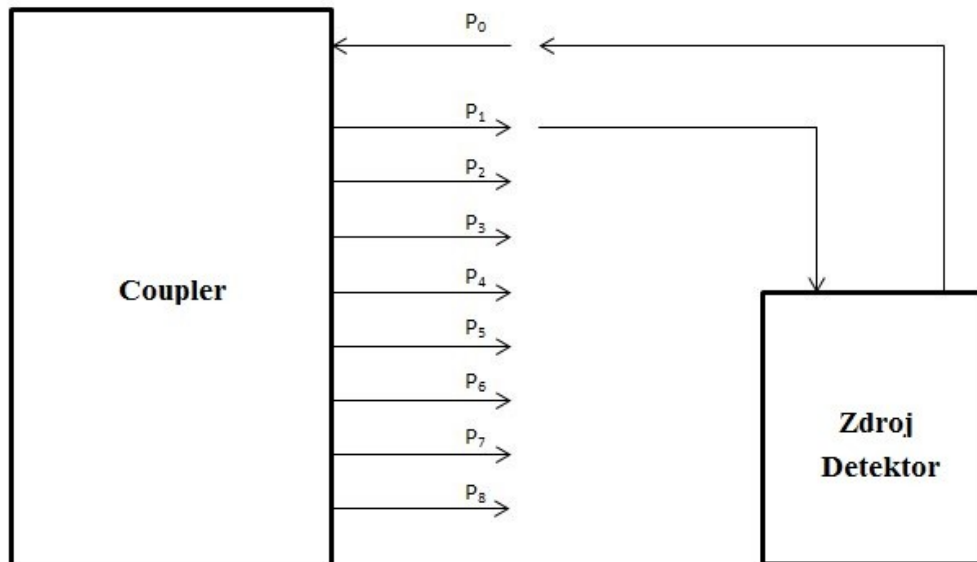
V následujících podkapitolách jsou popsány průběhy měření, zjištěné výsledky měření a jejich zhodnocení. Veškerá naměřená data jsou uvedena v přílohách A až G.

2.1 Průběh zatěžování

Zatěžování teplem probíhalo přímo v areálu VŠB-TUO. Použita k tomu byla elektrická sušárna v, které byl coupler položen na kovové podložce. Po celou dobu zatěžování se používala stejná teplota a to 95°C. Tato teplota byla použita, jelikož při teplotách vyšších jak 100°C se plastová ochrana konektoru začala tavit a docházelo k trvalému poškození optického vlákna uvnitř, což by mělo za následek zkreslení výsledku měření. V okolí sušárny byla normální pokojová teplota, která se pohybovala kolem 23°C. V průběhu zatěžování se optický coupler několikrát obracel, aby byl ze všech stran rovnoměrně prohříván. Doba zatěžování se pohybovala přibližně v rozmezí 120-160 hodin. V případě posledního zatížení byla zvýšena na 360 hodin. Po uplynutí doby zátěže se coupler nechal vychladnout na teplotu přibližně 25°C a následně probíhalo měření parametrů, po jehož skončení se coupler opět uložil do sušárny k dalšímu cyklu zatěžování.

2.2 Měření výkonu

Měření tohoto parametru probíhalo jako první, jelikož tato hodnota byla nezbytná pro výpočet všech dalších parametrů, jako je vložný útlum, dělicí poměr, homogenita ztrát a celkové ztráty (viz. další kapitoly). Osm výstupů optického coupleru bylo označeno P1 - P8. Naměřený výkon se udával v μW a všechna měření se prováděla celkem 20 krát, aby se minimalizovala chyba měření. Při měření se používala metoda 1C se třemi vlákny. První vlákno vystupovalo z detektoru, druhé vlákno byl optický coupler a poslední vlákno vstupovalo opět do detektoru. Abychom zjistili výkon (P0), vycházející z detektoru tak se optický coupler nahradil optickým vláknem. Zdrojové vlákno z laserového detektoru zůstalo připojeno, rozpojovала se pouze vlákna vedoucí až z coupleru do detektoru. Ještě předtím, než začalo měření, bylo každé vlákno pečlivě vyčištěno a zkontrolováno mikroskopem. Jako zdroj a zároveň detektor jsme použili OLTS (Optical Loss Test Set) typ EXFO AXS 200/350.



Obrázek 2.1: Schéma měření výkonu coupleru

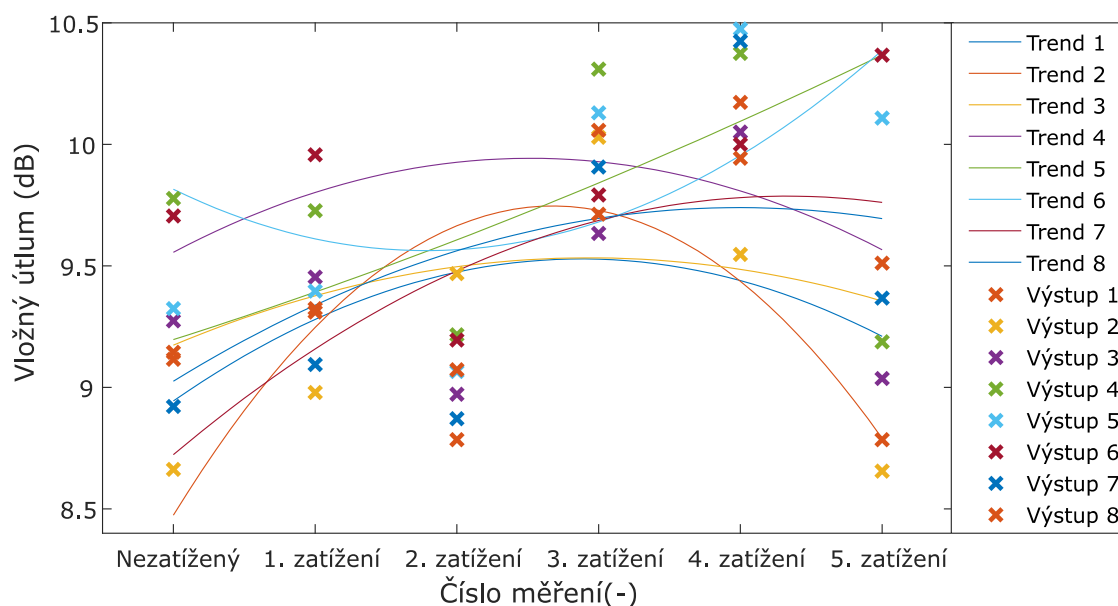
2.3 Vložný útlum

Vložný útlum se vypočítával jen z výkonu, který vstupoval a následně vystupoval z coupleru. Jeho jednotkou je dB. U coupleru 1:8, který jsme měřili, by se hodnota vložného útlumu měla pohybovat okolo 10 dB.

Praktické využití rovnice 1.3 lze ukázat na příkladu základního měření pro 1310 nm mezi vstupem a výstupem. V měření číslo 1 vstupoval výkon 2450 μ W a vystupoval výkon 301 μ W. Při dosazení do rovnice:

$$-10 * \log \frac{0,000301}{0,002450} = 9,105995888 \text{ dB} \quad (2.1)$$

2.3.1 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm



Obrázek 2.2: Graf naměřených hodnot vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm

Z grafu na obrázku 2.1 pro vložné útlumy výstupů, pro vlnovou délku 1310 nm vidíme, že hodnoty naměřené na nezatíženém coupleru jsou v rozmezí 8,66 dB až 9,77 dB. Hodnota 8,66 dB byla naměřena u výstupu č. 2 a hodnota 9,77 dB u výstupu č. 4.

Po prvním zatěžování, které trvalo 142 hodin při teplotě 95°C byly naměřeny o něco vyšší hodnoty vložných útlumů. Což odpovídalo předpokladům. Nejnižší hodnota byla naměřena opět na výstupu č. 2 a to 8,98 dB a nejvyšší hodnota 9,96 dB na výstupu č. 6.

Následovalo druhé zatěžování při stále stejné teplotě 95°C, avšak doba byla o něco kratší a to jen 126 hodin. Hodnoty naměřené po tomto zatěžování mírně poklesly. Pouze u výstupu č. 2 vložný útlum vzrostl. Rozmezí bylo 8,78 dB u výstupu č. 1 a 9,47 dB u výstupu č. 2.

Při třetím zatěžování zůstávala konstantní teplota 95°C a čas zahřívání byl 165 hodin. Hodnoty vložných útlumů velmi prudce vzrostly a to do rozmezí od 9,63 dB u výstupu č. 3 do 10,31 dB u výstupu č. 4.

Následující zatěžování probíhalo téměř totožnou dobu jako to minulé a to 166 hodin při stále teplotě 95°C. Opět jde vidět, že hodnoty na všech výstupech znovu mírně vzrostly, až na výstup č. 2, který jediný poklesl. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 9,55 dB u již zmíněného výstupu č. 2 a 10,47 dB u výstupu č. 5, což bylo maximum naměřené na vlnové délce 1310 nm.

Poslední zatížení trvalo nejdéle a to rovných 360 hodin, přičemž teplota zůstává beze změny. Po tomto zatížení hodnoty téměř všech výstupů celkem výrazně klesly. Jediný výstup č. 6 vzrostl na ještě vyšší hodnotu. V celkovém hodnocení byly hodnoty rozděleny téměř půl na půl. První půlka

dosáhla vyšších hodnot než u měření nezatíženého coupleru a druhá půlka o něco nižších. Respektive u výstupu č. 1 až č. 4 hodnoty klesly a od výstupu č. 5 hodnoty vzrostly. Hodnoty byly v rozmezí 8,65 dB u výstupu č. 2 a 10,36 dB u výstupu č. 6. Ovšem do čtvrtého zatěžování hodnoty rostly, což splňovalo předpoklad.

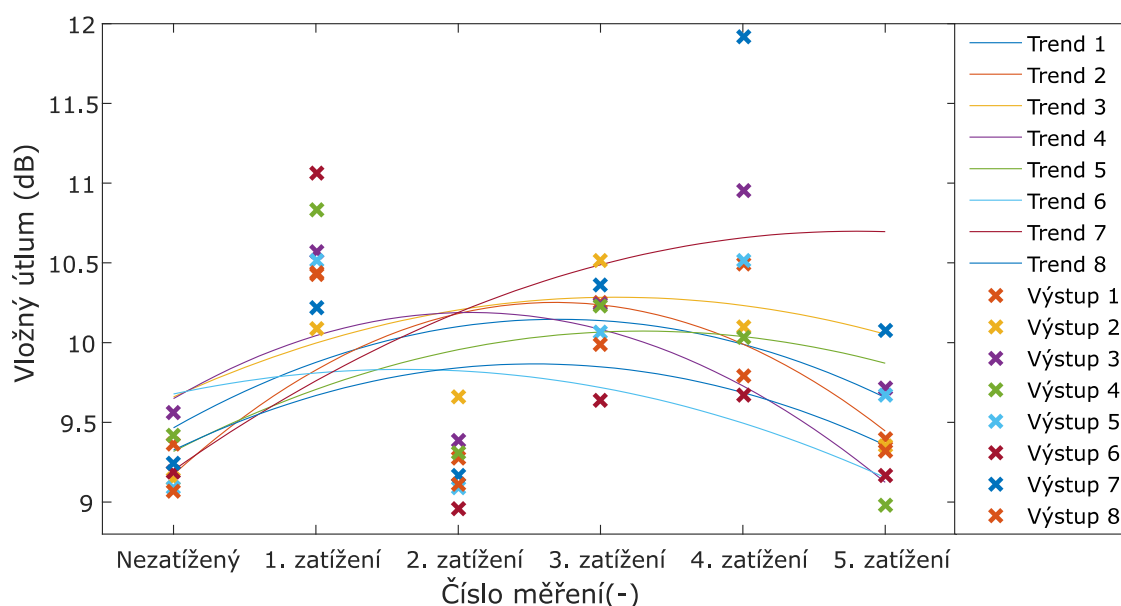
Nejvyššího rozdílu mezi měřením nezatíženého coupleru a měřením coupleru po poslední zátěži dosáhl výstup č. 5, kde rozdíl činil 0,77 dB. Naopak nejmenší rozdíl byl zaznamenán u výstupu č. 8 a to 0,37 dB. Pokud ovšem nebere v potaz výstupy, u kterých útlum poklesl.

Byla provedena aproximace a pro proložení byl použit polynom druhého řádu. Na grafu vidíme, že spojnice trendu všech výstupů mají tendenci do čtvrtého zatěžování stoupat a po posledním zatížení klesnou. Tudíž můžeme soudit, že vlákno po zatěžování teplem rozhodně stárne a vložný útlum se zvyšuje.

Výsledné aproximované rovnice:

Výstup 1: $y = -0,0707x^2 + 0,4065x + 8,9437$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,157$
Výstup 2: $y = -0,1774x^2 + 0,9502x + 8,4738$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,821$
Výstup 3: $y = -0,0417x^2 + 0,2449x + 9,1735$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,108$
Výstup 4: $y = -0,0610x^2 + 0,3073x + 9,5557$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,107$
Výstup 5: $y = 0,0097x^2 + 0,1858x + 9,1964$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,613$
Výstup 6: $y = 0,0796x^2 - 0,2834x + 9,8149$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,618$
Výstup 7: $y = -0,0568x^2 + 0,4919x + 8,7230$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,458$
Výstup 8: $y = -0,0448x^2 + 0,3578x + 9,0253$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,457$

2.3.2 Průběh měření vložného útlumu pro vlnovou délku 1550 nm



Obrázek 2.3: Graf naměřených hodnot vložného útlumu vlnovou délkou 1550 nm

U vlnové délky 1550 nm, jejíž graf je na obrázku 2.2, při měření nezatíženého optického coupleru pozorujeme, že hodnoty vložného útlumu nejsou o moc odlišné oproti vlnové délce 1310 nm. Jejich rozsah je 9,07 dB (výstup č. 8) až 9,57 dB (výstup č. 3).

Po prvním zatěžování hodnoty všech výstupu prudce vzrostly a to tak, že minimum bylo 10,09 dB (výstup č. 2), kdežto maximum se zde dostalo až nad 11 dB. Přesněji 11,07 dB u výstupu č. 6.

Při měření hodnot po druhém zatěžování lze vidět, že hodnoty vložných útlumů stejně jako při vlnové délce 1310 nm poklesly. Některé dokonce pod hodnoty měření při nezatíženém měření. Rozsah naměřených hodnot zde byl 8,96 dB u výstupu č. 6, který byl při minulém měření na svém maximu a 9,66 dB (výstup č. 2)

Po třetím zatěžování hodnoty zase vzrostly, opět je to podobné měřením pro vlnovou délku 1310 nm, kdy se coupler choval velmi podobně. Minimum bylo naměřeno na výstupu č. 6 a to 9,63 dB maximum pak na výstupu č. 2, kde hodnota byla 10,52 dB.

U měření po čtvrtém zatěžování se hodnoty pohybovaly na podobných hodnotách, až na dva výstupy, které rapidně stouply. Byly to výstupy č. 3, který dosáhl hodnoty 10,96 dB a dosáhl tak svého maxima. A výstup č. 7, který dosáhl hodnoty 11,92 dB a dosáhl nejen svého maxima, ale i maximální hodnoty pro vložný útlum 1550 nm. A maxima celého měření. Naopak nejnižší hodnotou bylo 9,67 dB u výstupu č. 6.

Po posledním zatěžování hodnoty zase poklesly. U některých výstupů byl pokles mírnější u některých prudší. Rozsah hodnot se pohyboval od 8,98 dB (výstup č. 4) do 10,08 dB (výstup č. 7).

Celkově jen u dvou výstupů (výstup č. 4, výstup č. 6) byl naměřen vložný útlum menší než při měření nezatíženého coupleru. U všech ostatních byla hodnota větší, což splňuje předpoklad.

Nejvyššího rozdílu mezi měřením nezatíženého coupleru a měřením coupleru po poslední zátěži dosáhl výstup č. 7, kde rozdíl činil 0,84 dB. Naopak nejmenší rozdíl byl zaznamenán u výstupu č. 1 a to 0,03 dB. Pokud ovšem nebere v potaz výstupy, u kterých útlum poklesl.

Byla provedena aproximace a pro proložení hodnot byl opět použit polynom druhého řádu. Z grafu lze vidět, že spojnice trendu u všech výstupů jsou ze začátku stoupavé a pak mírně klesají. Vláknem tedy po zatěžování teplem stárne a vložný útlum se zvyšuje i pro vlnovou délku 1550 nm. Ovšem ke konci se útlum ustálil.

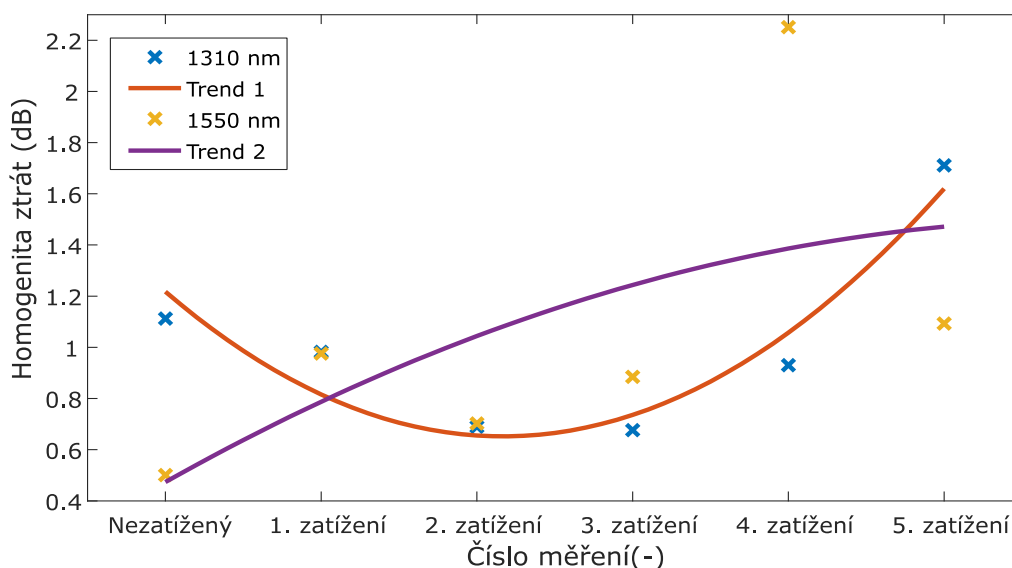
Výsledné aproximované rovnice:

Výstup 1: $y = -0,0931x^2 + 0,5034x + 9,4660$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,209$
Výstup 2: $y = -0,1499x^2 + 0,8040x + 9,1743$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,668$
Výstup 3: $y = -0,0647x^2 + 0,4023x + 9,6592$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,138$
Výstup 4: $y = -0,1249x^2 + 0,5194x + 9,648$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,327$
Výstup 5: $y = -0,0694x^2 + 0,4577x + 9,3180$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,613$
Výstup 6: $y = -0,0592x^2 + 0,1910x + 9,6781$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,110$
Výstup 7: $y = -0,0651x^2 + 0,6246x + 9,2006$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,346$
Výstup 8: $y = -0,0839x^2 + 0,4259x + 9,3262$	Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,175$

2.4 Homogenita ztrát

Dalším parametrem optického coupleru je homogenita ztrát. Tato hodnota se určuje jako rozdíl mezi maximálním vložným útlumem a minimálním vložným útlumem coupleru.

Dále následuje graf pro homogenitu ztrát pro obě vlnové délky 1310 nm i 1550 nm.



Obrázek 2.4: Průběh homogenit ztrát pro obě vlnové délky

Z grafu na obrázku 2.3 lze vidět, že při měření nezatíženého coupleru byla homogenita ztrát u vlnové délky 1310 nm zhruba 1,11 dB a u vlnové délky 1550 nm zhruba 0,5 dB. Pro vlnovou délku 1550 nm to bylo minimum, ovšem pro vlnovou délku 1310 nm dosáhla homogenita ztrát minima až po třetím zatěžování. Na maximum se pro vlnovou délku 1310 nm homogenita ztrát vyšplhala po posledním zatěžování. Pro délku 1550 nm po čtvrtém zatěžování.

Minimální hodnota homogenity ztrát byla pro vlnovou délku 1310 nm 0,68 dB, pro vlnovou délku 1550 nm 0,5 dB. Maximální hodnoty potom byly 1,71 dB pro vlnovou délku 1310 nm a 2,25 dB pro vlnovou délku 1550 nm.

Ze spojnic trendu vidíme, že pro vlnovou délku 1550 nm má spojnice tendenci stoupat až k hodnotě 1,4 dB. Ovšem spojnice pro vlnovou délku 1310 nm ze začátku klesá a stoupá až od druhého zatěžování.

Takže v celkovém shrnutí můžeme říct, že pro vlnovou délku 1550 nm s postupným zatěžováním homogenita ztrát narůstala, jak bylo v předpokladu. A u vlnové délky 1310 nm se sice zprvu zmenšovala, avšak ke konci se taky velmi zvýšila, tudíž i tady se potvrdil náš předpoklad.

Byla provedena aproximace a pro proložení hodnot byl opět použit polynom druhého řádu.

Výsledné aproximované rovnice:

$$1310 \text{ nm: } y = 0,1201x^2 - 0,5195x + 1,2139$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,906$$

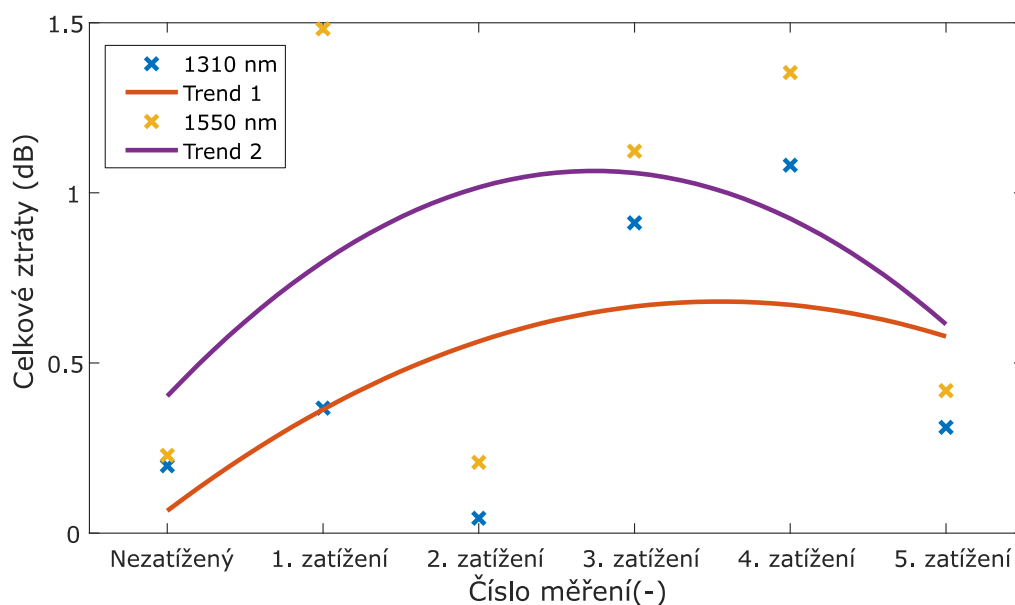
$$1550 \text{ nm: } y = -0,0286x^2 + 0,3424x + 0,4734$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,383$$

2.5 Celkové ztráty

Tento parametr slouží k určení celkových ztrát optického coupleru. Udává se v dB. Ideální hodnota celkových ztrát je 0 dB toho se ovšem v praxi nedá dosáhnout a běžně se tato hodnota pohybuje okolo 1 dB.

Následuje graf pro obě vlnové délky.



Obrázek 2.5: Graf celkových ztrát pro obě vlnové délky

Jak lze vidět z grafu na obrázku 2.5, pro obě vlnové délky byly po měření nezatíženého optického coupleru celkové ztráty velmi nízké a podobné přesněji 0,2 dB pro délku 1310 nm a 0,23 dB pro délku 1550 nm.

Po první zátěži dle očekávání obě hodnoty stouply a to přesně na 0,36 dB u vlnové délky 1310 nm a až na 1,48 dB u délky 1550 nm, což bylo celkové maximum.

Po druhém zatěžování stejně jako u ostatních parametrů hodnoty opět poklesly a to celkem výrazně hlavně u vlnové délky 1550 nm, kde hodnota dosáhla minima 0,21 dB. Hodnota pro délku 1310 nm byla potom 0,04 dB, což bylo celkové minimum.

V následujících dvou zatížení opět hodnoty narůstaly u obou vlnových délek a pohybovaly se v rozmezí 0,9 dB - 1,4 dB.

Po poslední zátěži hodnoty opět poklesly, ale stále byly vyšší, než na počátku měření. I u tohoto parametru tedy došlo ke zhoršení.

Spojnice trendu ukazují opět postupný nárůst a následně mírný pokles. I zde byla provedena aproximace a proložení hodnot použit polynom druhého řádu.

Výsledné aproximované rovnice:

$$1310 \text{ nm: } y = -0,0488x^2 + 0,3464x + 0,0656$$

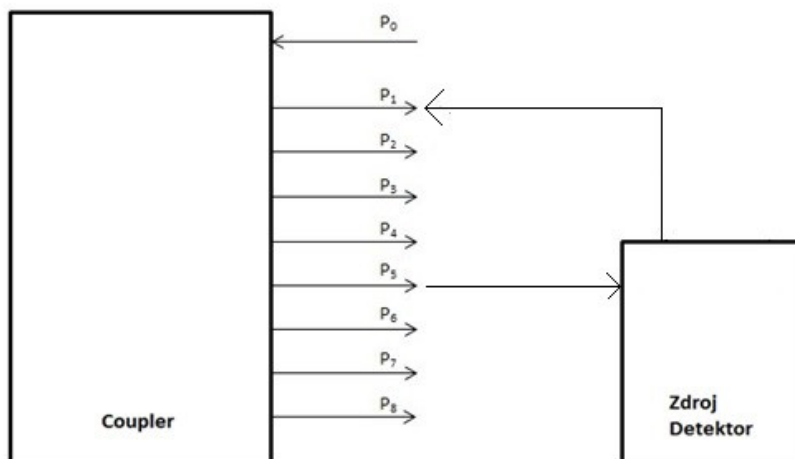
$$\text{Koefficient spolehlivosti: } R^2 = 0,316$$

$$1550 \text{ nm: } y = -0,0882x^2 + 0,4832x + 0,4025$$

$$\text{Koefficient spolehlivosti: } R^2 = 0,189$$

2.6 Směrovost

Díky tomuto parametru víme, jak velký výkon prochází z jednoho kanálu do druhého. Útlum by měl být co největší, protože je nežádoucí, aby výkon z jednoho výstupu přecházel do jiných výstupů. Výsledky tohoto parametru se udávají v dB. Směrovost se měřila mezi všemi kombinacemi výstupů tj. 1:2, 1:3, 1:4 až po 7:8, dohromady tudíž 28 kombinací.



Obrázek 2.6: Schéma měření směrovosti 1:5

2.6.1 Měření směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm

Tabulka 2.1: Tabulka směrovostí pro vlnovou délku 1310 nm, hodnoty jsou udávány v dB

	Nezatížený	1. zatížení	2. zatížení	3. zatížení	4. zatížení	5. zatížení
λ	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm
1:2	65,73625735	51,58257844	54,85574441	52,98297129	51,47483375	51,35515202
1:3	73,56016811	66,71704958	70,396924	73,20171335	75,52919176	52,38379009
1:4	73,35465395	66,73051914	70,86177397	73,31592592	75,28583846	neměřitelný výkon
1:5	73,62800377	68,60657461	76,66891905	74,42267563	77,60574874	neměřitelný výkon
1:6	73,94178631	68,56346234	75,81118902	74,47490425	77,97568089	neměřitelný výkon
1:7	73,37108493	68,22513513	78,72086049	74,53454933	77,42435084	neměřitelný výkon
1:8	73,50826131	46,76689608	77,29075602	74,32016849	78,21428038	neměřitelný výkon
2:3	73,37761147	41,51584892	70,17294329	72,59306294	75,70119491	neměřitelný výkon
2:4	73,60027122	41,18271683	70,95910302	72,34705438	74,30132919	neměřitelný výkon
2:5	73,98222504	41,23048961	78,51451536	73,89151021	77,37113622	neměřitelný výkon
2:6	74,20383623	41,59227942	76,19710569	74,03671959	77,33866199	neměřitelný výkon
2:7	74,21822476	41,04322405	77,25174799	74,16617298	77,96490063	neměřitelný výkon
2:8	74,41747235	41,57039674	78,43748667	74,07285862	77,13104781	neměřitelný výkon
3:4	71,69621309	41,38690003	70,39184093	70,45733619	69,94872097	74,73856138
3:5	74,39693503	40,91931323	78,11182611	74,65352286	76,66388154	neměřitelný výkon
3:6	74,23576653	40,58429293	76,92177748	74,43465736	76,50008605	neměřitelný výkon
3:7	74,39587173	40,63921212	77,78923454	74,49775686	77,0300308	neměřitelný výkon
3:8	74,96061321	40,90663658	78,68193975	74,8190209	76,56161692	neměřitelný výkon
4:5	73,58968716	41,79992715	78,96680427	74,10625226	76,61303824	neměřitelný výkon
4:6	73,81005782	41,88725535	79,03550335	73,82889622	76,08098394	neměřitelný výkon
4:7	73,94361632	40,71881104	78,95958941	74,1495241	76,25544996	neměřitelný výkon
4:8	74,14705709	41,3503019	78,31942152	74,14285709	75,77369485	neměřitelný výkon
5:6	66,45531123	41,52972436	56,56343276	61,41442558	64,66179221	69,00617202
5:7	67,14539295	41,24585971	60,07608608	61,11177346	69,19524009	70,90630076
5:8	67,59191065	40,67495166	59,51185184	57,56691627	66,00977729	70,80466955
6:7	67,38176453	40,26070667	59,1475225	61,1183079	66,46369527	72,16904312
6:8	67,56099458	40,47790752	58,83463928	61,90421677	65,2331328	69,2825703
7:8	68,99486701	39,85498023	57,96148726	61,37907478	66,62750255	70,3954298

Aby se směrovost považovala za dostatečnou, měla by její hodnota přesahovat 50 dB. Při měření nezatíženého coupleru byla nejmenší vypočtená hodnota 65,74 dB u kombinace 1 ku 2. Nejvyššího útlumu přeslechu bylo dosaženo u kombinace 3 ku 8 a to 74,96 dB. Tudíž nový coupler dostatečně splňoval kritéria.

Po prvním zatěžování coupleru a odměření hodnot se směrovosti u všech kombinací snížily a u většiny z nich dokonce pod hraničních 50 dB. Nejnížšího útlumu přeslechu dosáhla kombinace 7 ku 8, kde útlum byl až na 39,85 dB. Největší hodnotu zde dosáhla kombinace 1 ku 5 a to 68,61 dB.

Po druhém kole zatěžování směrovosti opět trochu narostly a u všech kombinací bylo dosaženo 50 dB a více. Nejhůře na tom byla kombinace 1 ku 2, kde byla výsledná hodnota pouhých 54,86 dB. Nejlépe na tom potom byla kombinace 4 ku 6, kde byl útlum přeslechu 79,04 dB.

Po dalším zatěžování byly naměřeny velmi podobné hodnoty jako u předchozího měření, směrovosti tudíž dopadly téměř stejně. Všechny kombinace se udržely nad 50dB, ovšem kombinace 1 ku 2 na tom byla nejhůře s hodnotou 52,98 dB. Nejlépe pak dopadla kombinace 3 ku 8 s hodnotou 74,82 dB.

Po předposledním zatěžování byly naměřeny opět velmi podobné hodnoty jako u předchozích dvou měření. Směrovosti téměř u všech kombinací mírně vzrostly, nebo zůstaly na stejno. Jen kombinace 1 ku 2 stále klesala a to na 51,47 dB. Maximum zde bylo 77,98 dB u kombinace 1 ku 6.

Po posledním zatěžování nebylo možné u většiny kombinací naměřit potřebný výkon k výpočtu směrovosti. Hranice měřitelnosti u použitého měřáku byla 30 pW, takže u všech neměřitelných kombinací nalezneme v tabulce text "neměřitelný výkon". U těch kombinací kde šlo výkon změřit, se směrovost stále držela nad 50 dB a to i u kombinace 1 ku 2, kde bylo minimum 51,36 dB. Maximum pak bylo na kombinaci 3 ku 7 a to 74,74 dB.

Po celkovém zhodnocení lze vidět, že útlumy přeslechu se postupně vracely k hodnotě naměřené na nezatíženém optickém coupleru. S výjimkou kombinace 1 ku 2, kde se neustále snižovala a nejspíše by postupně klesla pod 50 dB. Ostatní měřitelné kombinace ukazovaly nárůst oproti prvnímu měření a to o zhruba o 2 dB.

2.6.2 Měření směrovostí pro vlnovou délku 1550 nm

Tabulka 2.2: Tabulka směrovosti pro vlnovou délku 1550 nm, hodnoty jsou udávány v dB

	Nezatížený	1. zatížení	2. zatížení	3. zatížení	4. zatížení	5. zatížení
λ	1550 nm	1550 nm	1550 nm	1550 nm	1550 nm	1550 nm
1:2	67,33582385	52,54231575	52,34511169	51,95372153	53,36436395	52,38379009
1:3	75,19585129	67,53509055	72,26389988	74,38438995	76,19123464	neměřitelný výkon
1:4	75,44424919	67,87593488	72,23695212	74,21392795	76,70004896	neměřitelný výkon
1:5	75,81840363	69,34442107	76,44697338	76,26454305	78,67961434	neměřitelný výkon
1:6	75,71190246	69,6727308	77,99299402	75,90983094	78,92855988	neměřitelný výkon
1:7	75,69583396	69,33438661	79,08378854	76,00275078	78,93282852	neměřitelný výkon
1:8	75,32800456	49,29213164	77,97751584	76,04777008	79,01240094	neměřitelný výkon
2:3	75,37341098	42,84107165	71,21497084	73,74378536	77,01563157	neměřitelný výkon
2:4	75,63434932	42,64554117	71,95394331	73,67904464	75,50944064	neměřitelný výkon
2:5	75,72281202	42,43130831	79,13985362	75,10471252	78,63073212	neměřitelný výkon
2:6	75,74359215	42,76589409	77,40808164	75,6029269	78,67031375	neměřitelný výkon
2:7	75,67660569	42,18017407	76,93767568	75,5958917	79,02696902	neměřitelný výkon
2:8	75,33360049	42,70102317	78,73131223	75,23858723	78,26726748	neměřitelný výkon
3:4	72,53855796	42,48893256	71,62292057	71,81393979	71,27175021	74,70693246
3:5	75,49739164	41,9929043	79,05321217	75,8556202	77,82155375	neměřitelný výkon
3:6	75,43254551	41,6906143	78,21317682	75,6813218	77,74223309	neměřitelný výkon
3:7	75,22085174	41,76657643	78,79977657	75,98647858	78,36930361	neměřitelný výkon
3:8	75,64284617	42,06731398	78,76856646	76,27474758	77,76153191	neměřitelný výkon
4:5	74,47911808	42,90358492	78,9048327	75,31715797	77,75284871	neměřitelný výkon
4:6	74,60097455	42,91035765	78,90694043	75,02112441	77,3436996	neměřitelný výkon
4:7	75,17438091	41,78859975	78,72099164	75,3627798	77,53049858	neměřitelný výkon
4:8	75,60743607	42,50594941	78,66788249	75,31568075	77,04284786	neměřitelný výkon
5:6	67,7297126	42,63811584	61,40221608	62,19528403	65,53093443	70,19721962
5:7	68,19090759	42,30480989	59,90117634	62,34465142	71,16784372	70,75544622
5:8	68,83348537	41,78295374	60,77713022	58,34727259	67,27425677	70,58068999
6:7	68,62933343	41,37650402	60,23785884	62,35103068	68,14534079	72,5605044
6:8	68,47543049	41,54886843	60,0122865	63,10242562	65,77395549	69,2703686
7:8	69,99792142	40,83982037	59,59685141	62,69233315	68,09020418	70,45022206

Nyní se zaměříme na tabulku s útlumy přeslechu pro vlnovou délku 1550 nm. Již na první pohled lze vidět, že hodnoty jsou velmi podobné jako při měření pro vlnovou délku 1310 nm.

Hodnoty po měření nezatíženého coupleru se pohybovaly od 67,36 dB u kombinace 1 ku 2 do 75,82 dB u kombinace 1 ku 5.

Po prvním zatěžování coupleru a odměření hodnot se směrovosti u všech kombinací snížily a u většiny z nich opět až pod hraničních 50 dB stejně jako u vlnové délky 1310 nm. Pouze kombinace 1 ku 2 až 1 ku 7 se udržely nad 50 dB. Nejnižší útlum byl na kombinaci 7 ku 8, kde útlum byl až na 40,84 dB. Největší hodnotu zde dosáhla kombinace 1 ku 6 a to 69,67 dB.

Po druhém zatěžování směrovosti opět trochu narostly a u všech kombinací bylo dosaženo 50 dB a více. Nejhůře na tom byla opět kombinace 1 ku 2, kde byla výsledná hodnota pouhých 52,34 dB. Nejlépe na tom potom byla kombinace 2 ku 5, kde byl útlum přeslechu 79,14 dB.

Po dalším zatěžování byly naměřeny velmi podobné hodnoty jako u předchozího měření, směrovosti tudíž dopadly téměř stejně. Jejich rozmezí bylo 51,95 dB (kombinace 1 ku 2) až 76,27 dB (kombinace 3 ku 8).

Po předposledním zatěžování byly naměřeny opět velmi podobné hodnoty jako u předchozích dvou měření. Směrovosti téměř u všech kombinací mírně vzrostly, nebo zůstaly nastejno. Rozsah hodnot byl 53,36 dB (kombinace 1 ku 2) až 79,03 dB (kombinace 2 ku 7)

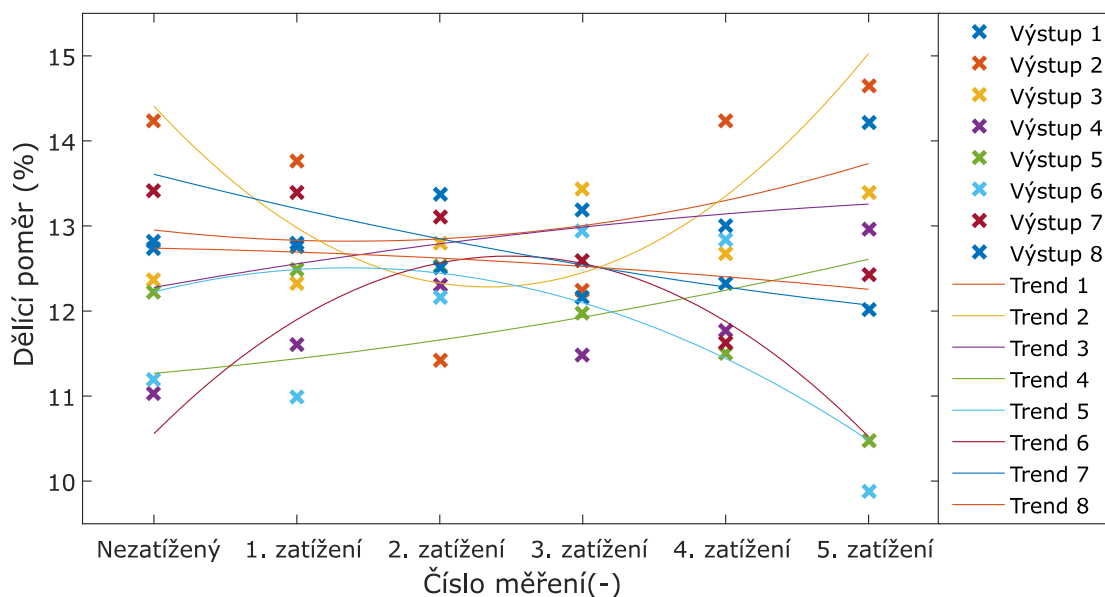
Ani při vlnové délce 1550 nm nešlo u většiny kombinací naměřit dostatečný výkon k výpočtu směrovosti. Takže u všech neměřitelných kombinací nalezneme v tabulce opět text "neměřitelný výkon". Respektive jsou ty samé kombinace co u vlnové délky 1310 nm, až na kombinaci 1 ku 3, která při vlnové délce 1310 nm změřit šla. U měřitelných kombinací bylo minimum 52,38 dB (kombinace 1 ku 2) a maximum 72,56 dB (kombinace 6 ku 7)

I u vlnové délky 1550 nm, z tabulky vyplívá, že útlumy přeslechu se postupně vracely k hodnotě naměřené na nezatíženém coupleru. I zde výjimku tvoří kombinace 1 ku 2, kde hodnota stále klesá. Ostatní kombinace opět ukazovaly nárůst oproti prvnímu měření o cca 2 dB.

2.7 Dělicí poměr

Je to poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony signálů optických signálů na výstupech optického coupleru. Tento parametr se udává v procentech. Hodnota na jednotlivých výstupech závisí na jejich počtu. Celkově by měla být 100 %. Takže pro náš coupler, který má 8 výstupů by měl na každém výstupu dosahovat dělicího poměru 12,5 %.

2.7.1 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1310 nm



Obrázek 2.7: Graf pro dělicí poměr pro vlnovou délku 1310 nm

Na grafu na obrázku 2.7 vidíme, že po změření nezatíženého coupleru se hodnoty pohybují od 11,02 % na výstupu č. 4 do 14,23 % na výstupu č. 2.

Následujícím zatěžováním se tento rozsah neustále snižoval. Přesněji na hodnoty od 10,98 % (výstup č. 6) do 13,77 % (výstup č. 2) po první zátěži. Dále na hodnoty 11,41 % (výstup č. 2) až 13,37 % (výstup č. 1). A nakonec na 11,49 % (výstup č. 4) až 13,43 % (výstup č. 3).

Po čtvrtém zatěžování se rozptyl trochu zvýšil a to na 11,5 % (výstup č. 5) až 14,25 % (výstup č. 2).

Po posledním zatížení byl rozdíl zdaleka největší a dosáhlo se jak minima, tak maxima pro tuto vlnovou délku. Minimum zde bylo 9,88 % (výstup č. 6) a maximum 14,64 % (výstup č. 2).

Spojnice trendu ukazují, že některé výstupy se měnily více lineárně a některé méně.

Nejvyšší rozdíl oproti nezatíženému coupleru byl na výstupu č. 4, kde dělicí poměr vzrostl o 1,94 %. Nejnižší rozdíl pak u výstupu č. 2, kde tento parametr vzrostl o 0,42 %.

Výsledné aproximované rovnice:

$$\text{Výstup 1: } y = 0,0695x^2 - 0,1914x + 12,9529$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,288$$

$$\text{Výstup 2: } y = 0,3878x^2 - 1,8153x + 14,4071$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,703$$

$$\text{Výstup 3: } y = -0,0202x^2 + 0,2965x + 12,2779$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,584$$

$$\text{Výstup 4: } y = 0,0242x^2 + 0,1474x + 11,2681$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,552$$

$$\text{Výstup 5: } y = -0,1529x^2 + 0,4161x + 12,2252$$

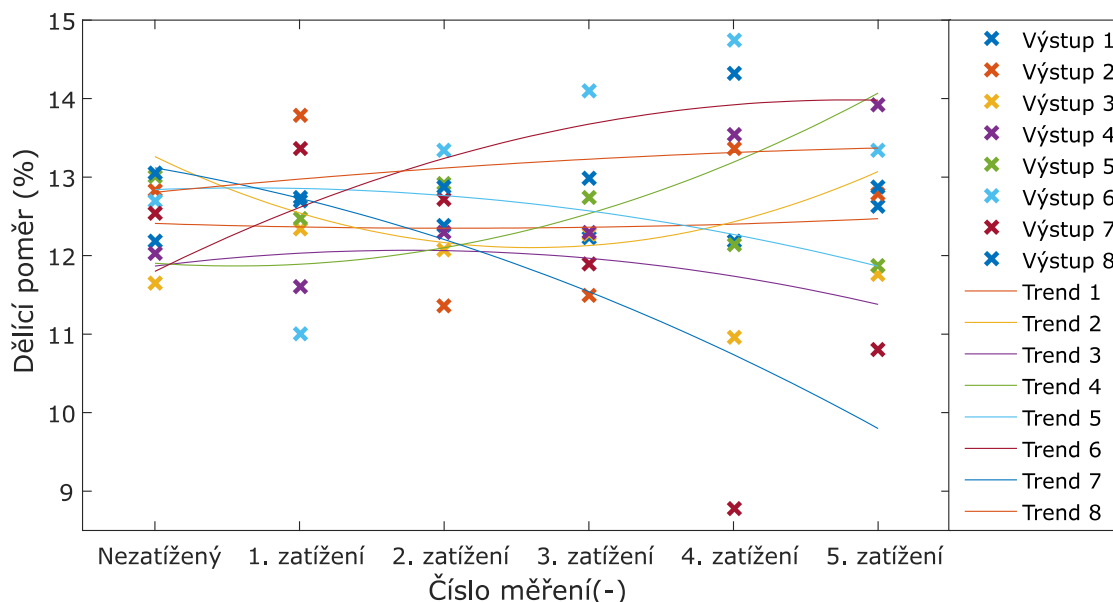
$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,990$$

$$\text{Výstup 6: } y = -0,3369x^2 + 1,6773x + 10,5583$$

$$\text{Koeficient spolehlivosti: } R^2 = 0,595$$

Výstup 7: $y = 0,0239x^2 - 0,4271x + 13,6078$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,710$ Výstup 8: $y = -0,0127x^2 + 0,0331x + 12,7389$ Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,230$

2.7.2 Průběh měření dělicího poměru pro vlnovou délku 1550 nm



Obrázek 2.8: Graf pro dělicí poměr pro vlnovou délku 1550 nm

Z grafu na obrázku 2.8 lze vidět, že po změření nezatíženého coupleru se hodnoty pohybují ve velmi malém rozmezí a to od 11,65 % na výstupu č. 3 do 13,06 % na výstupu č. 8.

Následujícím zatěžováním se tento rozsah první o něco zvětšil. Přesněji na hodnoty od 11 % (výstup č. 6) do 13,78 % (výstup č. 2) po první zátěži. Poté se za snížil na hodnoty 11,35 % (výstup č. 2) až 13,35 % (výstup č. 6). Dále se opětovně zvýšil a byl v rozmezí 11,5 % (výstup č. 2) až 14,09 % (výstup č. 6). Po čtvrtém zatížení byl rozptýl absolutně největší a to od 8,78 % (výstup č. 7) do 14,74 % (výstup č. 6). Po posledním zatížení byl rozsah hodnot menší než u předchozího zatížení, avšak větší než na nezatíženém coupleru. Jejich rozsah byl 10,81 % (výstup č. 7) až 13,91 % (výstup č. 4).

Maximum i minimum bylo dosaženo po čtvrté zátěži a to 14,74 % pro maximum a 8,78 % pro minimum.

Ze spojnic trendů lze vyčíst, že průběh byl o něco lineárnější než u vlnové délky 1310 nm.

Nejvyšší rozdíl oproti nezatíženému coupleru byl na výstupu č. 4, kde dělicí poměr vzrostl o 1,88 %. Nejnižší rozdíl pak u výstupu č. 2, kde tento parametr vzrostl o 0,04%. Takže na stejných výstupech jako u vlnové délky 1310 nm.

Výsledné aproximované rovnice:

Výstup 1: $y = 0,0142x^2 - 0,0587x + 12,4094$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,034$

Výstup 2: $y = 0,1698x^2 - 0,8869x + 13,2603$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,228$

Výstup 3: $y = -0,0654x^2 + 0,2293x + 11,8665$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,247$

Výstup 4: $y = 0,1114x^2 - 0,1236x + 11,9020$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,915$

Výstup 5: $y = -0,0524x^2 + 0,0668x + 12,8410$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,763$

Výstup 6: $y = -0,0945x^2 + 0,9083x + 11,7988$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,441$

Výstup 7: $y = -0,0692x^2 - 0,3174x + 13,1163$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,568$

Výstup 8: $y = -0,0139x^2 + 0,1822x + 12,8058$

Koeficient spolehlivosti: $R^2 = 0,132$

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo určit vliv tepla na útlumové parametry optického coupleru, včetně uvedení teoretického rozboru tohoto zařízení.

Celá práce byla rozdělena do dvou hlavních částí. V první části, která byla zaměřena na teorii, jsem vypracoval první tři body zadání. V druhé, praktické části jsem potom uvedl výsledky měření a vyhodnotil jeho průběh.

Obsahem první kapitoly byl teoretický rozbor optického coupleru a optických sítí. V první podkapitole je krátký úvod do světla a jeho spektra. V druhé podkapitole jsem se věnoval optickým vláknům a jejich vlastnostem. Třetí podkapitola se věnovala optickým sítím a jejich rozdělení na aktivní a pasivní a dále pak podrobněji pasivním optickým sítím. V další podkapitole bylo vysvětleno rozdělení přípojek FTTx a jejich použití v optických sítích. Poslední podkapitola se věnovala teoretickému rozboru optického coupleru a jeho útlumovým parametrům, které jsem měřil.

V druhé části práce je popsán způsob a průběh zatěžování coupleru a dále průběh a výsledky měření jednotlivých parametrů.

Tato část je rozdělena na 7 podkapitol, ve kterých se zkoumala praktická část této práce. První podkapitola byla zaměřena na průběh zatěžování optického coupleru. Druhá podkapitola se věnovala měření výkonů vycházejícího z coupleru. V následujících podkapitolách byly popsány jednotlivé zkoumané parametry, včetně naměřených výsledků doplněných grafem, případně tabulkou a jejich okomentováním. Mezi zkoumané parametry patřil vložný útlum, homogenita ztrát, celkové ztráty, směrovost a dělicí poměr.

Při vyhodnocení výsledků jsme zjistili, že teplo opravdu v některých případech negativně ovlivňuje útlumové parametry optického coupleru. U vložného útlumu pro vlnovou délku 1310 nm zůstaly hodnoty oproti základnímu měření téměř na stejných hodnotách a pohybovaly se okolo 10 dB. To samé potom platí pro vlnovou délku 1550 nm. Což znamená, že tento minimální nárůst hodnot nemá vliv na funkčnost optického coupleru, ovšem bylo očekáváno poškození. Následně jsem se zaměřil na homogenitu ztrát, jejíž hodnota by měla být velmi nízká. Průměrná hodnota pro vlnovou délku 1310 nm byla 1,02 dB a pro vlnovou délku 1550 nm 1,07 dB, tudíž velmi podobná hodnota. Nárůst oproti původnímu měření byl 0,6 dB pro vlnovou délku 1310 nm i 1550 nm. Maxima 1,71 dB pro vlnovou délku 1310 nm bylo dosaženo při posledním měření a maxima 2,25 dB pro 1550 nm při předposledním měření. Takže můžeme říct, že teplo způsobilo zvýšení této hodnoty a tím negativně ovlivnilo funkčnost optického coupleru. Dalším parametrem, který jsem zkoumal, byly celkové ztráty optického coupleru. Průměrná hodnota pro vlnovou délku 1310 nm byla 0,48 dB a pro vlnovou délku 1550 nm 0,8 dB. Nárůst oproti původnímu měření byl 0,11 dB pro vlnovou délku 1310 nm a 0,19 dB pro vlnovou délku 1550 nm. Maxima 1,08 dB pro vlnovou délku 1310 nm bylo dosaženo při předposledním měření a maxima 1,48 dB pro 1550 nm hned při druhém měření. Teplo nejspíše i tady ovlivnilo hodnoty parametrů a k menšímu nárůstu došlo, ovšem na funkčnost coupleru to nemělo moc velký vliv. Předposledním měřeným parametrem byla směrovost neboli útlum přeslechu. Hodnoty tohoto parametru by měly přesahovat 50 dB. V mém případě hodnoty hned po prvním zatížení klesly pod tuto hodnotu a to pro obě vlnové délky 1310 i 1550 nm. Ovšem po dalším zatěžování už se stabilizovaly a držely se nad 50 dB. Po předposledním měření dokonce dosahovaly cca o 2 dB vyšší hodnoty. Po poslední zátěži se u většiny kombinací nepodařilo naměřit dostatečný výkon k výpočtu

směrovosti. Tudíž nemůžeme přesně říct, jak teplo ovlivňuje tento parametr. Avšak po prvním zatížení došlo k výraznému poklesu, tudíž asi teplo bude mít negativní vliv. Posledním měřeným parametrem byl dělicí poměr. Mnou měřený optický coupler měl rozbočovací poměr 1:8, takže byl očekáván na každém výstupu dělicí poměr 12,5%. Toto tvrzení se vesměs potvrdilo, až na výjimečné případy a to u obou vlnových délek. Při měření nezatíženého coupleru se hodnoty pohybovaly mezi 11% a 14%. V průběhu celého měření docházelo k výkyvům, ale dělicí poměr se stále pohyboval v rámci rozmezí. Ovšem u 1310 nm došlo k poklesu až na 9,9% a nárůstu na 14,6% a to u posledního měření. U vlnové délky 1550 nm byl pak největší rozdíl po předposledním zatěžování a to 8,8% a 14,7%. Takže lze říct, že teplo negativně ovlivňuje dělicí poměr optického coupleru.

Ve výsledku jsme tedy došli k závěru, že vliv tepla má jistý vliv na útlumové parametry optického coupleru. Změny probíhaly u všech parametrů, i když u některých nebyly tak výrazné. Nejvýraznější změny proběhly po první zátěži u směrovosti při obou vlnových délkách a pro dělicí poměr při vlnové délce 1550 nm po předposlední zátěži.

Použitá literatura

- [1] Světlo jako elektromagnetické vlnění. Encyklopedie Fyziky. [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/434-svetlo-jakoelektromagneticke-vlneni>
- [2] Elektromagnetické spektrum [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://radek.jandora.sweb.cz/f25.htm>
- [3] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. Optické přístupové sítě a přípojky FTTx. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5
- [4] VENGHAUS, Herbert a Norbert GROTE. Fibre optic communication: key devices. Berlin: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-20516-3
- [5] Technologie přenosu dat přes optická vlákna [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/9994?start=2>
- [6] [online]. [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: http://www.pepperl-fuchs.cz/czech_republic/cs/classid_605.htm?view=productgroupoverview
- [7] MLYNÁŘOVÁ, Tereza. Plastová optická vlákna (POF) [online]. [cit. 2016-12-10]. Semestrální práce ČVUT Praha, Fakulta dopravní. Dostupné z: http://www.lss.fd.cvut.cz/vyuka/tkms/soubory/semestralni-prace-2009-2010/mlynarova_plastova-opticka-vlakna-final.doc
- [8] ŠERÝ, Rost'a. Optické sítě. [online]. 2006 [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006120301-opticke-site/>
- [9] HORNÍČEK, Lukáš. Optická síť FTTH [online]. Brno, 2011 [2016-12-09]. Bakalářská práce VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37164
- [10] FILKA, Miloslav. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. první. Brno: Centa, spol.s.r.o., 2009. 371 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [11] ARVAI, Ladislav: PON (Passive Optical Network) [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: <http://www.netguru.cz/component/content/article?id=1340>
- [12] TŘETINA, Vítězslav: Moderní optické přístupové Sítě [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69100
- [13] Pasivní optické sítě WDM-PON [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2009050004>
- [14] Intelek spol. s.r.o.: Optické sítě - 2.část [online]. [cit. 2016-12-09]. Dostupné z: http://www.intelek.cz/art_doc-785dbbcd8f869de1c1257b3d004d9a09.html?lotus=1
- [15] CYMOREK, Patrik: SIMULACE TRIPLE PLAY SLUŽEB V SÍTÍCH XG-PON V PROSTŘEDÍ NS-3 [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102898
- [16] SQS VLÁKNOVÁ OPTIKA. Optické děliče (PLC) splitters 1xN, 2xN [online]. [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: www.sqs-fiberoptics.com/?langue=cz&fiberoptics=12&products=plcsplitter

Seznam příloh

Příloha A:	Naměřené hodnoty.....I
Příloha B:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami základní měření (složka základní měření)
Příloha C:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 1. zatížení (složka Coupler - 1.zatížení)
Příloha D:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 2. zatížení (složka Coupler - 2.zatížení)
Příloha E:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 3. zatížení (složka Coupler - 3.zatížení)
Příloha F:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 4. zatížení (složka Coupler - 4.zatížení)
Příloha G:	Příloha na CD - soubor excel s naměřenými hodnotami 5. zatížení (složka Coupler - 5.zatížení)

Příloha na CD/DVD.

Příloha A: *Naměřené hodnoty*Tabulka A.1: *Vložné útlumy pro vlnovou délku 1310 nm, v dB*

	vložný útlum výstup 1	vložný útlum výstup 2	vložný útlum výstup 3	vložný útlum výstup 4	vložný útlum výstup 5	vložný útlum výstup 6	vložný útlum výstup 7	vložný útlum výstup 8
Vlnová délka	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Základní měření	9,12	8,66	9,28	9,77	9,33	9,71	8,92	9,14
1. zatížení	9,31	8,98	9,45	9,73	9,40	9,96	9,10	9,33
2. zatížení	8,78	9,47	8,97	9,22	9,06	9,19	8,87	9,07
3. zatížení	9,71	10,03	9,63	10,31	10,13	9,79	9,91	10,06
4. zatížení	10,17	9,55	10,05	10,37	10,47	10	10,42	9,94
5. zatížení	8,78	8,65	9,04	9,18	10,11	10,36	9,37	9,51

Tabulka A.2: *Vložné útlumy pro vlnovou délku 1550 nm, v dB*

	vložný útlum výstup 1	vložný útlum výstup 2	vložný útlum výstup 3	vložný útlum výstup 4	vložný útlum výstup 5	vložný útlum výstup 6	vložný útlum výstup 7	vložný útlum výstup 8
Vlnová délka	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Základní měření	9,37	9,15	9,57	9,42	9,09	9,19	9,24	9,07
1. zatížení	10,43	10,09	10,57	10,84	10,52	11,07	10,22	10,44
2. zatížení	9,28	9,66	9,39	9,31	9,09	8,96	9,16	9,11
3. zatížení	10,25	10,52	10,24	10,23	10,07	9,63	10,37	9,99
4. zatížení	10,50	10,10	10,96	10,04	10,51	9,67	11,92	9,80
5. zatížení	9,40	9,35	9,71	8,98	9,67	9,16	10,08	9,32

Tabulka A.3: *Dělicí poměr pro vlnovou délku 1310 nm, v %*

	dělicí poměr výstup 1	dělicí poměr výstup 2	dělicí poměr výstup 3	dělicí poměr výstup 4	dělicí poměr výstup 5	dělicí poměr výstup 6	dělicí poměr výstup 7	dělicí poměr výstup 8
Vlnová délka	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310	1310
Základní měření	12,83	14,23	12,36	11,02	12,22	11,19	13,41	12,74
1. zatížení	12,75	13,77	12,33	11,60	12,48	10,98	13,39	12,80
2. zatížení	13,37	11,41	12,81	12,30	12,54	12,17	13,11	12,51
3. zatížení	13,18	12,24	13,43	11,49	11,97	12,93	12,59	12,17
4. zatížení	12,33	14,25	12,68	11,78	11,50	12,84	11,64	13
5. zatížení	14,21	14,64	13,40	12,96	10,48	9,88	12,42	12,02

Tabulka A.4: *Dělicí poměr pro vlnovou délku 1550 nm, v %*

	dělicí poměr výstup 1	dělicí poměr výstup 2	dělicí poměr výstup 3	dělicí poměr výstup 4	dělicí poměr výstup 5	dělicí poměr výstup 6	dělicí poměr výstup 7	dělicí poměr výstup 8
Vlnová délka	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
Základní měření	12,19	12,83	11,65	12,04	13	12,69	12,55	13,06
1. zatížení	12,74	13,78	12,33	11,60	12,48	11	13,36	12,70
2. zatížení	12,38	11,35	12,08	12,30	12,93	13,35	12,72	12,88
3. zatížení	12,23	11,50	12,27	12,29	12,74	14,09	11,90	12,98
4. zatížení	12,18	13,36	10,95	13,54	12,14	14,74	8,78	14,31
5. zatížení	12,64	12,78	11,76	13,91	11,87	13,35	10,81	12,87

Tabulka A.5: *Homogenita ztrát, v dB*

	homogenita ztrát pro 1310 nm	homogenita ztrát pro 1550 nm
Základní měření	1,11	0,50
1. zatížení	0,98	0,98
2. zatížení	0,69	0,70
3. zatížení	0,68	0,88
4. zatížení	0,93	2,25
5. zatížení	1,71	1,10

Tabulka A.6: *Celkové ztráty, v dB*

	celkové ztráty pro 1310 nm	celkové ztráty pro 1550 nm
Základní měření	0,20	0,23
1. zatížení	0,36	1,48
2. zatížení	0,04	0,21
3. zatížení	0,91	1,12
4. zatížení	1,08	1,35
5. zatížení	0,31	0,42